



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

Facultad de Ciencia e Ingeniería
Departamento de Tecnología
Ingeniería Geológica

Tema:

“Cartografía Geológica a escala 1:50,000, del Sector NW del Municipio de Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega, Nicaragua.”

Monografía para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Presentado por:

Br. Ariel José Morales Bravo

Tutor:

PhD. Carlos Ariel Rubí Téllez

Asesor:

Ing. Enrique Antonio Navarro

Asesor metodológico

MSc. Karen María Acevedo Mena

Managua, octubre 2020

Dedicatoria

*A **Dios**, por haberme permitido llegar a este punto y ser el quien me lleno de sabiduría y me guio en los momentos más difíciles de mis años de carrera.*

*A mi padre **José Tomas Canales Morales**, que siempre estuvo apoyándome incondicionalmente y es uno de los pilares en mi vida, con sus consejos y gran confianza en mí, he podido llegar a ser lo que soy hoy en día.*

*A mi madre **Esmeralda del Carme Gómez Bravo**, por ser la mujer que me dio a la vida, y que me apoyo en momentos difíciles.*

*A mis familiares, en especial a mi tía **Yamileth Del Carmen Morales** y mi tío **Norman Antonio Vargas**, cuales me han aconsejado e inculcado buenos valores, para ser una persona de bien.*

*A mis amistades, en especial a mis amigos y compañeros en la Carrera de Ingeniería Geológica, **Carlos Alexander Turcios, Nelson José Gómez, Juan José Mercado Medrano**, ya que siempre fueron grandes compañeros y me apoyaron en momentos importantes de mi carrera.*

Agradecimientos

A Dios sobre todas las cosas por darme la fuerza y la motivación para culminar este trabajo.

A mi familia; mi padre, mi madre, mis tíos, mis primos y hermanos, por brindarme su apoyo incondicional, por ser ejemplo de perseverancia y constancia que los caracteriza, por aconsejarme e inculcarme buenos valores, por su constante motivación que me ha permitido crecer como una persona de bien.

*De forma especial agradezco a la **PhD. Heyddy Calderón Palma**, por ser una de las primeras personas que depósito su confianza en mí y en mis capacidades como profesional y por toda la ayuda incondicional que me brindo.*

*A mi tutor; **PhD. Carlos Ariel Rubí Téllez**, por toda su valiosa enseñanza, apoyo, dedicación y colaboración que contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo.*

*A mi asesor; **Ing. Enrique Antonio Navarro**, por sus consejos, enseñanzas, dedicación y por todo su colaboración e invaluable aportes en el desarrollo de este trabajo.*

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) y a la carrera de Ingeniería Geológica del Departamento de Tecnología de la Facultad de Ciencias e Ingeniería por permitirme ser parte de su comunidad estudiantil.

*Al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) por darme la oportunidad de realizar este trabajo monográfico y brindarme los recursos, los equipos y demás materiales que ayudaron a culminar el documento, gracias al personal docente y administrativo que fueron de gran apoyo, en especial al **sr. Francisco Vázquez**, quien me apoyo durante la etapa de campo y en la elaboración de las secciones delgadas, al **Br. Juan Bautista Reyna**, quien apporto con sus técnicas y conocimientos sobre la elaboración de mapas.*

*Agradecer también a la alcaldía de Santa María de Pantasma y todo el personal, por su apoyo logístico que nos brindaron durante las etapas de campo. Al **PhD. Pierre Rochette**, por su colaboración y apoyo durante la etapa de campo, que de una u otra manera contribuyeron al proceso de realización del trabajo.*

Carta Aval del Tutor

Resumen

El presente estudio, tuvo como objetivo principal elaborar una cartografía geológica a escala 1:50,000 del sector NW del municipio de Santa María de Pantasma, del Departamento de Jinotega.

La metodología que se llevó a cabo en esta investigación consistió tres etapas principales; 1) etapa de trabajo de gabinete, donde se logró recopilar la información más relevante de la zona de estudio, así mismo, se realizó la fotointerpretación para elaborar un mapa preliminar, 2) etapa geológica de campo; consistió en descripción de afloramientos y estructuras geológicas, y la 3) etapa de procesamiento de datos y preparación del informe final.

La geología local se caracteriza por seis unidades litológicas distribuidas en la zona, donde identificaron; la unidad metamórfica (PTm), unidad de brechas aglomeráticas (Tomms-b), unidad andesítica (Tomms-a), unidad ignimbrítica (Tomms-i), Unidad riolítica y la unidad de depósitos aluvionales del Cuaternario (Qal). También, se determinaron tipos de Fallas y fracturas las cuales presentaron direcciones preferenciales hacia el NW-SE y NE-SW.

La geomorfología de la zona se representa por cinco unidades geomorfológicas donde se identificaron las unidades: 1) Llanuras Aluviales, 2) Lomas Erosionadas, 3) Colinas y Cerros Escarpados, 4) Relieves Abruptos y Montañosos y 5) Cráteres y Calderas.

En conclusión la zona de estudio predominan rocas volcánicas de edad Terciaria y rocas metamórficas del Paleozoico. La caldera Pantasma se encuentra afectadas por estructuras geológicas más recientes que se orientan hacia el NW-SE y las más antiguas hacia el NE-SW.

Palabras clave: caldera Pantasma, geología, geomorfología, cartografía geológica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I.....	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. Localización del área de estudio.....	2
1.1.2. Vías de acceso.	2
1.1.3. Características generales del área de estudio.....	3
1.1.3.1. Relieve.....	3
1.1.3.2. Clima y Temperatura	3
1.1.3.3. Suelo	3
1.2. Planteamiento del problema	5
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
Capitulo II.....	8
2.1 Marco referencial	8
2.1.1. Antecedentes.....	8
2.1.2. Marco Teórico.....	13
2.1.2.1. Marco Geotectónico Regional	13
2.1.2.2. Geología Regional de Nicaragua.....	15
2.1.2.2.1. Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacífico	15
2.1.2.2.3. Provincia Geológica del Norte	16
2.1.2.2.4. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica	17
2.1.2.2.5. Provincia Geológica Central de Nicaragua	17
2.1.2.3. Definiciones y Consideraciones Geológicas.....	18
2.1.2.3.1. Cartografía Geológica.....	18
2.1.2.3.2. Petrografía.....	20
2.1.2.3.3. Geología Estructural.....	20

2.2. Hipótesis	24
Capítulo III	25
3.1. Diseño metodológico	25
3.1.1. Enfoque de la investigación	25
3.1.2. Tipo de estudio	25
3.1.3. Área de estudio	25
3.1.4. Universo y Muestra	26
3.1.5. Variables y Operacionalización de la variable	26
3.1.6. Métodos, Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información	27
3.1.6.1. Métodos de recolección de información	27
3.1.6.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información	27
3.1.7. Procedimientos para la recolección de datos	28
3.1.8. Plan de Análisis y procesamiento de datos	29
Capítulo IV	30
4. Análisis y discusión de los resultados	30
4.1. Geomorfología	30
4.1.1. Morfometría	30
4.1.1.1. Mapa Altimétrico	30
4.1.1.2. Mapa de Densidad de Disección del Relieve	33
4.1.1.3. Mapa de Energía del Relieve	36
4.1.1.4. Mapa de Pendientes	38
4.1.1.5. Mapa de Órdenes de Corrientes	40
4.1.2. Unidades Geomorfológicas	42
4.1.2.1. Unidad Llanuras Aluviales - al	42
4.1.2.2. Unidad de Lomas Erosionadas- Le	43
4.1.2.3. Unidad de Colinas y Cerros Escarpados- Cce	44
4.1.2.4. Unidad de Relieves Abruptos y Montañosos- Rm	44
4.1.2.5. Unidad de Cráteres y Calderas- Cc	45

4.2. Geología Local.....	47
4.2.1. Unidad de rocas metamórficas - PTm	47
4.2.1.1. Composición Mineralógica.....	51
4.2.2. Unidad brecha aglomerado –Tomms (b)	54
4.2.2.1. Composición Mineralógica.....	55
4.2.3. Unidad andesítica -Tomms (a)	57
4.2.3.1. Composición Mineralógica.....	60
4.2.4. Unidad ignimbrítica - Tomms (i)	64
4.2.4.1. Composición Mineralógica.....	65
4.2.5. Unidad riolítica - Tpci.....	67
4.2.5.1. Composición Mineralógica.....	68
4.2.6. Unidad Cuaternario aluvional - Qal.....	70
4.3. Correlación Estratigráfica.....	74
4.4. Geología Estructural	78
4.4.1. Fases de Deformación.....	79
4.4.1.1. Fase de Deformación NW-SE	79
4.4.1.2. Fase de Deformación NE-SW	85
4.4.2. Estructuras Circulares.	91
Capítulo V	95
5.1. Conclusiones	95
5.2. Recomendaciones	97
5.3. Bibliografía.....	99
5.4. Anexos.....	102

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	4
Ilustración 2. Configuración geológica regional de Nicaragua. Fuente: (Frischbutter, 2002).....	13
Ilustración 3. Mapa de las Provincias Geológicas según su Geomorfología, Geología tectónica, histórica y económica. Fuente: (Hodgson, G., 1977).	15
Ilustración 4. Muestra los diferentes esfuerzos, 4a) Compresión triaxial. 4b) Extensión Axial 4c) Tensión uniaxial. Fuente: (Arellano et al., 2002).....	21
Ilustración 5. Representación de los tipos de deformaciones, 5a) Cuerpo sin deformar. 5b) Deformación dúctil. 5c) deformación frágil. Fuente: (Arellano et al., 2002).....	22
Ilustración 6. Mapa altimétrico.....	32
Ilustración 7. Mapa de densidad de disección del relieve.	35
Ilustración 8. Mapa de energía del relieve.....	37
Ilustración 9. Mapa de Pendientes.	39
Ilustración 10. Mapa de órdenes de corrientes.....	41
Ilustración 11. Llanuras aluviales en la comunidad La Estancia Cora (N1481696 – E0612369).....	43
Ilustración 12. Cerró El Patastillal, Foto tomada desde la Comunidad Cuatro Esquinas (N1475100 – E0610500).	43
Ilustración 13. Colinas volcánicas y cerros escarpados, foto tomada en la comunidad El Níspero (N1470845 – E0611750).....	44
Ilustración 14. Montañas Los Cedros, foto tomada en la comunidad El Portal (N1477768 – E0608363).	45
Ilustración 15. Caldera El Pacayal (N1482035 – E0609992).	45
Ilustración 16. Mapa Geomorfológico.....	46
Ilustración 17. Esquistos con pequeños pliegues. La Brellera (N1483100 - E0612906).....	48
Ilustración 18. 18a) Esquistos y cuarcita comunidad El Bramadero (N1484450 - E0612330). 18b) Esquistos grafitosos con presencia de cuarzo blanco.	49

Ilustración 19. Contacto entre las rocas metamórficas PTm y las rocas volcánicas del Terciario Tomms. El Porvenir (N1484766 - E0614795).....	50
Ilustración 20. Esquistos en el sector Norte del área de estudio, comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355)	51
Ilustración 21. Muestra tomada en la comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355). Representa un esquistos con micro plegamientos y vetillas de cuarzo.	52
Ilustración 22. 22a) Diagrama triangular Kfps-Qz-Mi, representa una Micaesquistos. 22b) Cuarzo (Qz), biotita (Bt), moscovita (Mv), aumento 10x. 22c) cristales de cuarzo (Qz) en forma de mosaico, porfidoblastos isotrópicos de granate (Gt), minerales opacos (Op), aumento 10x. Comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355). 53	53
Ilustración 23. Micaesquistos. 23a) cuarzo (Qz), granate (Gt), crenulación en las moscovitas (Mv), biotitas (Bt). 23b) Cristal de granate isotrópico, presenta sombra de presión. Boca de Vilan (N1482720 – E0620355).	53
Ilustración 24. Unidad brecha aglomerado. 24a) Comunidad el Chile (N1481464 - E0618416). 24b) Rio Pantasma (N1476212 – E0613827)	54
Ilustración 25. Muestra tomada en el rio Pantasma (N1476212 – E0613827), representa un clasto de composición andesítica dentro de la brecha aglomeraticas.	55
Ilustración 26. 26a) Diagrama QAPF muestra una andesita calcoalcalina. 26b) Textura pilotaxítica, Cuarzo (Qz), Plagioclasas (Pl), Piroxenos (Px), minerales opacos (Op), aumento 5x. 26c) cristales euhedrales de plagioclasas (Pl); se aprecia la alteración sericítica que presentan las plagioclasas., aumento 5x.	56
Ilustración 27. 27a) Piroxenos (Px), ligeras oxidaciones (OxFe), aumento 5x. 27b) Matriz microcristalina de plagioclasas (Pl) cristales de calcita (Cal.) con irisaciones, Cuarzo (Qz), aumento 5x.	56
Ilustración 28. Andesitas comunidad El Níspero (N1470845 - E0611750)	57
Ilustración 29. 29a) Andesitas rio El corozal (N1474231 - E0608688). 29b) Oxidación más avanzadas El corozal (N1474974 – 0608393). 29c) El Portal (N1477768 – E0608363).	58

Ilustración 30. 30a) El Charcón N°2 (N1479034 - E0614273) andesitas alteradas con fracturas rellenas con calcita. 30b) Roca andesita in situ, Las Praderas (N1476545 – E0614631).....	59
Ilustración 31. Muestras de mano de las andesitas. 31a) El Patastillal (N1473989 - E0608364). 31b) El Corozal (N1473765 – E0608189). 31c) El Charcón N°2 (N1479034 - E0614273) 31d) El Charcón N°2, la roca se encuentra más oxidada.	60
Ilustración 32. 32a) Diagrama QAPF, muestra una roca andesítica) 32b) Textura fluidal y glomeloporfídica, plagioclasas (Pl) aumento 5x. 32c) Plagioclasas (Pl) con una corona de reacción, ortopiroxenos (Opx), piroxenos (Px) y Minerales opacos (Op), aumento 5x.	61
Ilustración 33. Andesita, comunidad El Patastillal (N1473989 - E0608364). 33a) cristales subhedrales de augita (Px), Plagioclasas (Pl) afectada por oxidaciones de Fe-Ti, aumento 5x. 33b) Matriz microcristalina constituida por microlitos de plagioclasas (Pl), cristales de augita (Px), cristales automorfos de olivino (Ol), aumento 5x.	62
Ilustración 34. 34a) Diagrama QAPF, muestra una roca andesítica 34b) Matriz vítrea, con microlitos de plagioclasas y calcita (Cal), aumento 5x. 34c) Fenocristales de calcita (Cal), agregados de cuarzo (Qz) alterando la roca original, aumento 5x.	63
Ilustración 35. Andesita alterada, comunidad El Charcón N°2 (N1479034 - E0614273). 35a) Textura pilotaxítica en una matriz vítrea, calcita (Cal) y cuarzo (Qz), aumento 5x. 35b) Calcita (Cal) y fenocristales de plagioclasas (Pl) alterada, presentando maclado tipo Carlsbad aumento 5x.	63
Ilustración 36. Afloramiento de ignimbritas de tonalidad rosadas, comunidad El Pacayal (N1481187 - E0609724)	64
Ilustración 37. Ignimbritas alteradas en la comunidad Loma Alta Arriba (N1469556- E0614103).....	65
Ilustración 38. 38a) Ignimbritas con fiames, El Pacayal (N1473765 - E0608189). 38b) Ignimbritas soldadas, comunidad El Patastillal (N1473765 - E0608189).....	65

Ilustración 39. 39a) Representa una ignimbrita con presencia de minerales opacos (Op), fenocristales de plagioclasas (Pl), aumento 5x. 39b) Matriz microcristalina, presencia de fiammes y óxidos de Fe-Ti, aumento 5x.	66
Ilustración 40. 40a) Se aprecian la textura eutaxítica- vitroclástica, pequeños fiammes y minerales opacos (Op), aumento 5x. 40b) Muestra fiammes con inclusiones de feldespato potásicos (Fp) y óxido de Fe-Ti, aumento 5x.	66
Ilustración 41. 41a) Riolitas Flor de Pino N°1. 41b) Riolitas alteradas comunidad El Venado.....	67
Ilustración 42. 42a) Riolitas comunidad El Sacramento (N1472593 - E0607945). 42b) Riolitas alteradas comunidad El Venado (N1478308 - E0621784).	68
Ilustración 43. 43a) Diagrama QAPF, representa rocas riolíticas. 43b) Matriz vítrea, fenocristales de cuarzo (Qz), feldespatos en este caso la ortoclasa (Ort), aumento 5x. 43c) plagioclasas (Pl), fenocristales de anfíboles (Anf) y minerales opacos, aumento 5x.	69
Ilustración 44. Riolita comunidad El Sacramento (N1472593 - E0607945). 44a) Fenocristales de anfíboles (Anf), cuarzo (Qz), plagioclasas, aumento 5x. 44b) Muestra cristales de cuarzo corroídos (Qz), Ortoclasa (Ort) y fenocristales de plagioclasas (Pl), con maclas polisintéticas envueltos en una matriz vítrea, aumento 5x.	69
Ilustración 45. 45a) Diagrama QAPF representa riolitas en la comunidad El Venado (N1478308 - E062174). 45b) fenocristales de ortoclasa (Ort), plagioclasas (Pl) y minerales opacos (Op), aumento 5x. 45c) Matriz vítrea con microcristales de plagioclasas y cristales automorfos de plagioclasas (Pl) con zonación concéntrica y cuarzo corroído, aumento 5x.....	70
Ilustración 46. 46a) Brecha volcánica, comunidad Las Penquillas (N1474538 - 0612639). 46b) Vidrio volcánico, comunidad La Estancia Cora (N1481654 - E0616693).....	71
Ilustración 47. Afloramiento de 7 metros en la comunidad Las Penquillas (N1474538 – E0612639), muestra la dirección del flujo y los distintos materiales depositados por el río Pantasma.....	72

Ilustración 48. Suelos recientes y coluviales, comunidad La Estancia Cora (N1481487 – E0616693).....	73
Ilustración 49. Deslizamiento en la comunidad Los Limones N°2 (N1476150 - E0615676).....	73
Ilustración 50. Columna litológica del Sector NW de Santa María de Pantasma. Fuente: Elaboración Propia.....	76
Ilustración 51. Mapa geológico Sector Nw de Santa María de Pantasma.....	77
Ilustración 52. Roseta de fractura con dirección NW-SE.....	80
Ilustración 53. Fracturas conjugadas y anastomasadas en el sector de El Venado (N1478761- E0620851).....	81
Ilustración 54. Falla Boca de Vilan (N1482720 – E0620355). 54a) Fracturas sub paralelas rumbando al NW. 54b) anticlinal fuertemente erosionado. 54c) Pliegue tumbados.	82
Ilustración 55. 55a) Fracturas paralelas verticales con dirección NW-SE. 55b) Sistema de Fracturas conjugadas. 55c) Roseta de fracturas de El Níspero (N2470845 – E611750).....	83
Ilustración 56. 56a) Fracturamientos sub paralelo en roca andesíticas. 56b) Sistema de fracturas conjugadas asociadas falla normal en la comunidad El corozal (N1474974 – E608392).....	84
Ilustración 57. Roseta de fractura con dirección NE-SW.....	86
Ilustración 58. 58a) Fracturamiento Paralelo vertical y horizontal. 58b) Facturas con relleno de calcita. La Brellera (N1482872 – E0613108).....	87
Ilustración 59. 59a) Falla El Bramadero desplazando las filitas. 59b) Pliegues, con fracturas en dirección NE-SW. Comunidad El Bramadero (N1484450 – E0612330)	88
Ilustración 60. Sistema de fracturas conjugadas y sub paralelas. Comunidad El Patastillal (N1473765 – E608189).....	89
Ilustración 61. Falla Flor de Pino (N1480102 – E620365).....	90
Ilustración 62. Falla inversa El Chile (N1481464 – E0618416)	91
Ilustración 63. Borde Sur de la Caldera Pantasma.....	92
Ilustración 64. Mapa Estructural.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vértices del área de estudio	2
Tabla 2. Estructuras Geológicas.....	23
Tabla 3. Operacionalización de la variable (MOVI).....	26

Capítulo I

1.1. Introducción

La presente investigación es para optar al título de Ingeniero Geólogo, este tuvo como objetivo principal realizar una cartografía geológica a escala 1:50,000, donde se determinaron las principales unidades litológicas y se clasificaron por medio de un análisis petrográfico, también se determinaron las orientaciones preferenciales de las estructuras geológicas, definiendo así las fases de deformación que afecta la zona.

El área de estudio se localiza en el departamento de Jinotega, al NW del Municipio de Santa María de Pantasma, con un área de 282 km², la zona no cuenta con una cartografía geológica actualizada, lo cual significa que no se tiene un conocimiento preciso de la localización y la disponibilidad de los recursos geológicos, lo que produce una inadecuada calificación urbanística y planificación territorial.

Es por ello que esta investigación estuvo enfocada a generar información actualizada sobre: contactos litológicos, unidades litológicas y estructuras geológicas, como fallamiento, lineamientos, fracturamientos y estructuras volcánicas en el área.

La investigación tuvo como resultado un mapa geológico a escala 1:50, 000, que dará paso a futuras investigaciones, que serán trascendentales para el impulso científico e investigativo y de mucha importancia para el crecimiento nacional y la planificación de los recursos geológicos del municipio de Santa María de Pantasma.

1.1.1. Localización del área de estudio

El municipio de Santa María de Pantasma se encuentra ubicado a 222 km de la ciudad de Managua, tiene un territorio de 563 km², este limita al Norte con el municipio de Quilali, que pertenece al departamento de Nueva Segovia, al Sur limita con el municipio de Jinotega, al Este con el municipio de Bocay y El Cuá, al Oeste con los municipios de San Rafael del Norte y San Sebastián de Yali (IICA, 1988, p.132).

La zona de estudio se encuentra en el sector NW de Santa María de Pantasma, cubre un área aproximada de 282 km² (ver ilustración 1) y pertenece a las hoja topográficas San Rafael del Norte 2955-I, Quibuto 2956-II, Asturias 3055-IV, Las Praderas 3056-III, según la tercera edición de la actualización topográfica realizada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en el año 1988 a escala 1:50,000, en el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM zona 16N (Ver tabla 1).

Tabla 1. *Vértices del área de estudio*

	N° Vértice	Este	Norte
Vértices del Área de estudio	1	606715.82	1486216.59
	2	623051.90	1486238.12
	3	622924.46	1468880.60
	4	606656.54	1468880.68

Fuente: Elaboración propia

1.1.2. Vías de acceso.

Las principales vías de accesos la constituyen las carreteras que conectan al municipio de Santa María de Pantasma con Jinotega, Pantasma con Wiwili, Pantasma con Quilali, Pantasma con el Cuá y Pantasma con San Sebastián de Yali, que son transitables todo el tiempo (Corea y Asociados S.A, 2010, p. 11).

1.1.3. Características generales del área de estudio

1.1.3.1. Relieve

La parte Norte del municipio es accidentada con alturas que varían de los 350 a 1600 m.s.n.m, por ella pasan los ríos Pantasma y Quebradas. La parte sur del municipio es más bien plana con alturas de 350 y 500 metros sobre el nivel del mar y la atraviesan los ríos Pantasma y Zanizabu (IICA, 1988, p. 132).

1.1.3.2. Clima y Temperatura

En el municipio de Santa María de Pantasma, el tipo de clima es de sabana tropical de altura, con una temperatura anual que puede variar entre los 21° y 22° C, las precipitaciones anuales son de 2000 mm (IICA, 1988. P. 132).

La humedad relativa anual presenta valores de 75% al Norte y 80% al sur, en cuanto a la evapotranspiración potencial se registra un rango de 1600 hasta 1800 mm (Corea y Asociados S.A, 2010. P. 5).

1.1.3.3. Suelo

Los suelos son generalmente desarrollados a partir de rocas volcánicas en la zona montañosa (provenientes de basaltos y andesitas), y en las planicies corresponden a sedimentos aluviales. Según estudios realizados por INETER, en Santa María de Pantasma existen varios tipos de suelos: Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Ultisoles y Vertisoles, Oxisoles, Histosoles (Corea y Asociados S.A, 2010, p. 35).

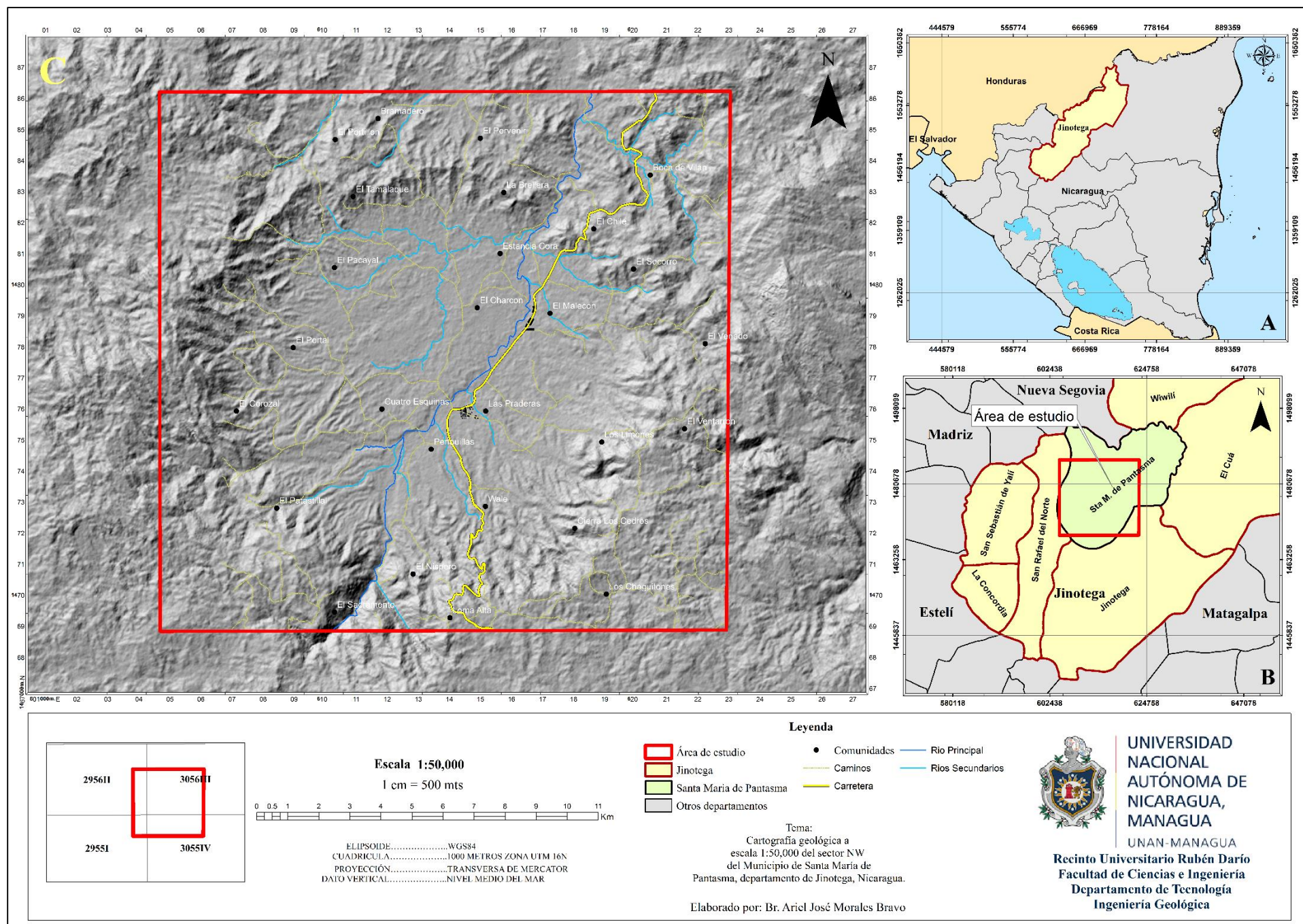


Ilustración 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Extraído de un DEM de la base de datos de la NASA EOSDIS (ASF Data Search Vertex, 2011).

1.2. Planteamiento del problema

La cartografía geológica en Nicaragua se ha elaborado tomado como base la interpretación de fotografías aéreas a escala regional. Esto hace difícil localizar algunas estructuras que solo pueden ser identificadas a una escala semidetallada.

Hoy en día es poco lo que se conoce sobre el origen y las relaciones existentes entre las diversas litologías y estructuras regionales a escala semidetallada, que afloran en el municipio de Santa María de Pantasma.

En el sector NW del municipio de Santa María de Pantasma, no se cuenta con una cartografía geológica actualizada a escala 1:50,000 desde el año 1985, esto significa que no tienen el conocimiento preciso de la localización y disponibilidad de los recursos geológicos del territorio, lo que dificulta la conservación, protección y aprovechamiento de los materiales geológicos de usos industrial o constructivo, esto también implica que cada nuevo problema relacionado con el medio geológico, se ha de realizar un estudio específico, lo que conlleva a costear múltiples proyectos que cuya información no es reutilizable.

La carencia de una cartografía geológica produce una inadecuada calificación urbanística y planificación territorial en el municipio de Santa María de Pantasma.

1.3. Justificación

El municipio de Santa María de Pantasma se encuentra dentro de la Provincia geológica de la región Central de Nicaragua, en esta zona los estudios geológicos son escasos o se han realizado a escala regional.

Esto ha sido una de las mayores problemáticas para las autoridades municipales, ya que no poseen información actualizada de los recursos geológicos que se encuentra en el territorio.

Es por ello que esta investigación estará enfocada a generar nueva información de la geología del área, realizando una cartografía geológica a escala 1:50,000 en el sector NW del municipio, que permitirá obtener información sobre: contactos litológicos, unidades litológicas y estructuras geológicas, como fallamiento, lineamientos, fracturamientos y estructuras volcánicas en el área.

Se espera que con esta investigación pueda contribuir a la ciencias de la tierra en Nicaragua y así dar paso a futuras investigaciones, que sean trascendentales para el impulso científico e investigativo, cuáles serán de mucha importancia para el crecimiento nacional y sobre todo dará una mejor herramienta para el desarrollo y planificación de los recursos del municipio de Santa María de Pantasma.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Realizar una cartografía geológica a escala 1:50,000 del sector NW del municipio de Santa María de Pantasma.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir las unidades geomorfológicas del área de estudio.
- Caracterizar las diferentes unidades litológicas para proponer una columna por medio de correlaciones estratigráficas de las formaciones geológicas en el sitio de investigación.
- Realizar un análisis petrográfico para clasificar las rocas mediante la observación microscópica de láminas delgadas.
- Determinar orientaciones preferenciales y los tipos de estructuras geológicas para analizar las fases de deformación en la zona de estudio.

Capítulo II

2.1 Marco referencial

2.1.1. Antecedentes

La zona de estudio se encuentra en el sector NW del municipio de Pantasma, no ha sido previamente investigada ni estudiada de forma semidetallada, se asume que el área de estudio está representada por las extensiones de formaciones volcánicas del Grupo Coyoil y el Grupo Matagalpa.

Es por ello que se tomaron como base las investigaciones de mayor relevancia realizadas en las áreas próximas, entre las que figuran las siguientes:

Rochette et al., (2019), realizó un estudio con el nombre “Pantasma: Evidencia de un cráter de impacto del Pleistoceno de unos 14 km de diámetros en Nicaragua” en donde su objetivo principal era demostrar que el valle de Pantasma se había generado por el impacto de un meteorito. Realizando un reconocimiento geológico, análisis petrográficos, análisis isotópicos y geoquímicos. Se concluyó que Pantasma es una estructura circular de 14 Km de diámetros y está representada por Grupo Coyoil del Mioceno al Pleistoceno temprano, flujos volcánicos del grupo Matagalpa y los esquistos del Paleozoico en donde sus exposiciones más cercanas son a 15 km al norte de la estructura y que dicha estructura tiene un origen meteórico basado en la identificación de vidrios de impacto por fases alta presión (Reidita en el Zircón; Coesita), criterios de alta temperatura como la Lechatelierita y la presencia de Cr extraterrestre en brechas polimícticas de fusión. La relación de esta investigación con el presente trabajo, es que tiene pequeños elementos cartográficos que pueden ser útiles en la recolección de los datos geológicos y estructurales.

Rochette et al., (2016), ejecutó las “primeras investigaciones sobre la estructura de Pantasma (Nicaragua)”, donde su objetivo era presentar las primeras evidencias del origen meteórico del valle de Pantasma. Realizo un reconocimiento geológico y concluye que Pantasma es una estructura circular de 13 km de diámetros y que ha

sido propuesto como un cráter de impacto, debido a que su morfología es claramente reciente, de edad Cuaternaria, la presencia de vidrio volcánico dentro de la estructura y la falta de actividad volcánica que se asocian a la caldera de colapso, apoyan pero no se demuestran la hipótesis del impacto. Esta investigación se relaciona al presente trabajo debido a que proporciona descripciones geológicas generales del municipio de Santa María de Pantasma.

Louches et al., (2013), realizó un estudio con el nombre “Hidrogeología de las formaciones Terciarias volcánicas y Cuaternarias en un sector de la cuenca alta del río Viejo (Jinotega, Nicaragua)”, para identificar las zonas de la cuenca alta del río Viejo donde existe mayor potencial del alumbramiento de aguas subterráneas. El estudio determinó, que la formación volcánica Coyol del Terciario, es el sustrato principal de la cuenca alta del río Viejo y que los recursos de esta formación se pueden estimar entre 0.8 y 3 hm³ con un área de recarga de 18 km² y las reservas de agua subterránea para la parte fracturada del Coyol son de 3 hm³, en cambio la unidad aluvional se estiman en 20 hm³. La investigación se relaciona con el presente trabajo porque cuenta con descripciones generales de las rocas volcánicas del grupo Coyol, la cuales se encuentran en los sectores aledaños a la zona de estudio.

Corea y Asociados S.A., (2010), en su estudio “Anexo diagnóstico de la infraestructura vial de la red de caminos vecinales del Municipio de Santa María de Pantasma”, su objetivo principal era potenciar el mejoramiento de los caminos rurales, de manera que permanezca interconectados con poblados y comunidades que están siendo desatendidas, por ello se estudiaron las condiciones de desarrollo económico, viales, ambientales e hidráulicas-hidrológicas para tener caminos más estables y duraderos. La investigación se relaciona con el trabajo actual, debido a que se ha realizado en dentro del área de estudio, aportando así información de los aspectos generales de la zona.

Corea y Asociado S.A., (2010), llevo a cabo un “Diagnóstico de la infraestructura vial de la red de caminos vecinales del Municipio de Santa María de Pantasma” el cual tuvo como objetivo conocer las debilidades más sentidas en materia de

infraestructura vial de caminos, para establecer estrategias de desarrollo a mediano y largo plazo. Se hicieron visitas de campo a los caminos vecinales del municipio, levantando información sobre la geometría del camino, aspectos ambientales y productivos, aspectos sociales e hidrológicos, el estudio sirvió como instrumento de planificación a la alcaldía para la priorización de los proyectos viales de caminos vecinales. La relación de esta investigación con el presente trabajo, es por que proporciona información general de las características geológicas y geomorfología de la zona de estudio.

CNE [Comisión Nacional de Energía] (2005), elaboró un informe con el nombre “Proyecto Hidroeléctrico Pantasma 10.4 Mw” con el objetivo de aumentar la capacidad hidroeléctrica instalada en el río Pantasma y reducir con ello la dependencia del petróleo en la generación eléctrica de Nicaragua. Se analizaron las posibilidades de la central hidroeléctrica a desarrollar la capacidad de 10.4 Mw. El estudio concluye que las condiciones globales del proyecto hidroeléctrico de Pantasma lo hacen acreedor de no ser una inversión atractiva. Esta investigación aporta al trabajo actual información de los aspectos topográficos, geológico, e hidrogeológicas que se encuentra en el sector sur del área de estudio.

Hodgson, G. y Darce, M., (1985), realizaron “Anotaciones Geológicas Relativas a los Cuadrángulos de Wiwili y La Vigía”, el cual tuvo como objetivo adquirir información geológica básica que sirvieran como base para la preparación de mapas geológicos preliminares a escala 1:50,000 y que se usaran como soporte geológico a las investigaciones de otras disciplinas, como la clasificación de suelo, investigaciones mineras, etc. Se realizó un estudio geológico a nivel semidetallado para contribuir al conocimiento regional a grandes rasgos sin entrar en mayores detalles. Concluyeron que la información generada puede ser empleada para investigaciones de tipo regional y de tipo generalizado. La relación de esta investigación con el presente trabajo es que proporciona una mayor información geológica y estructural del municipio de Pantasma y que sirve como base para el actual trabajo.

Hodgson, G., (1982), elaboró un “Informe geológico de presa El Mancotal, Macizo de Peñas Blancas, Rio Tuma, Rio Jiouina, Pancasan, Muy Muy y Santa Lucia” el estudio fue parte de la segunda fase del Programa Catastro, que tuvo como objetivo principal realizar un levantamiento geológico y anotaciones mineras semidetallada a escala 1:50,000, con la finalidad de proporcionar información básica a las secciones de Hidrogeología y Minas. El estudio se llevó a cabo mediante un levantamiento geológico de campo y los diferentes tipos de rocas se clasificaron por medio de la interpretación macroscópica de una lupa de 10x. La investigación se relaciona con el presente trabajo porque contiene información geológica, estructural y geomorfológica de los sectores aledaños, que pueden estar relacionados con la zona estudiada.

Garayar, S., (1971), elaboró una investigación con el nombre “Geología y depósitos de Minerales de una parte de las Mesas de Estelí, Cordilleras del Norte y Montañas de Dipilto”. El estudio fue parte del programa de Catastro e Inventario de Recursos Naturales, el objetivo era obtener los conocimientos geológicos básicos de la región, con el fin de reunir datos aprovechables para la evaluación de los recursos naturales. Realizaron reconocimientos geológicos de campo, estudios petrográficos, análisis químicos y dataciones radiométricas. En trabajo concluyo que dichas zonas estaban conformadas por rocas metamórficas indiferenciadas, rocas plutónicas, rocas pertenecientes a la formación Totogalpa, Grupo Matagalpa y Grupo Coyol, también determino que las manifestaciones minerales metálicos de la región son: oro, plata, antimonio y rocas industriales como mármoles. La investigación se relaciona con el trabajo actual, por la información geológica y estructural, los cuales pueden servir como aporte o bien ser utilizados como base en este estudio.

Garayar, S., (1969), realizó un “informe Geológico de los cuadrángulos de Jícaro–Quilali–La Pavona–San Rafael del Norte y Jinotega”. La investigación fue llevada a cabo como parte del proyecto de catastro e Inventario de Recursos Naturales, con

el objetivo de obtener los conocimientos geológicos básicos y reunir datos que fueran aprovechables para la evaluación de los recursos naturales y cooperar con los departamentos de suelos e hidrogeología. Se realizaron observaciones de campo, se tomaron muestras para estudios petrográficos y análisis químicos. La investigación se relaciona con el actual trabajo debido que esta tienen elementos cartográficos a escala regional que pueden ser aprovechados en la interpretación y correlación de la geología del área de estudio.

McBirney y Williams., (1965) en su estudio “Historia Volcánica de Nicaragua” reconocieron tres divisiones para los productos volcánicos, que se diferencia por el tipo de roca y su topografía.

- a. Una sección inferior: Representada por sedimentos volcánico, Brechas laharicas, lavas de composición andesíticas y basálticas.
- b. Una serie intermedia: La serie Matagalpa que se encuentra representada por lava andesítica –dacítica y depósitos piroclásticas de edad Mioceno inferior.
- c. Un tercer grupo: Contemporáneo en parte con el Matagalpa, representado por ignimbritas andesíticas y dacíticas e intercalación de toba y delgadas capas de lavas basálticas, se encuentra interdigitada con la parte superior del Matagalpa y es de edad Mioceno Plioceno.

La relación de esta investigación con el presente trabajo es que proporciona las pautas para conocer el contexto geológico de la zona de estudio, también sirve como una de las bases principales para la elaboración de este estudio.

2.1.2. Marco Teórico

2.1.2.1. Marco Geotectónico Regional

Centroamérica está situada entre la placa de Norte América y la placa de Sur América, se involucra con el movimiento cortical de la placa Cocos, la placa Nazca y la placa del Caribe (Ilustración 2), en donde esta interacción de placas provoca una geodinámica compleja que caracteriza la región (Frischbutter, 2002).

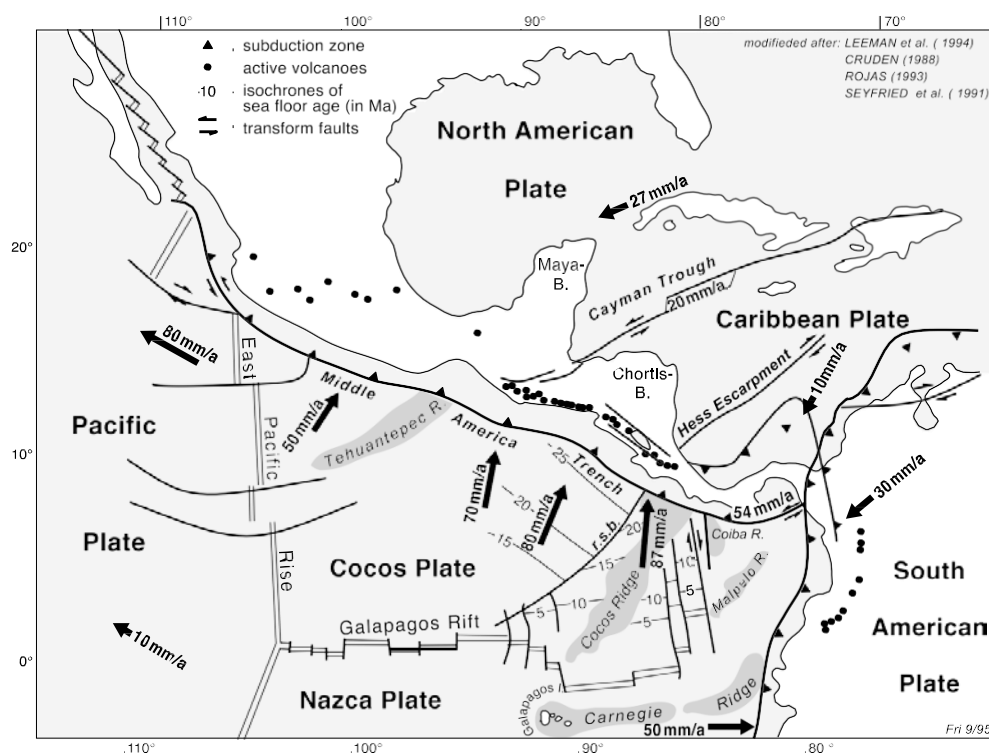


Ilustración 2. Configuración geológica regional de Nicaragua. Fuente: (Frischbutter, 2002).

Nicaragua se encuentra localizada en el límite Oeste de la placa Caribe, la cual se desarrolló en el Neógeno por la convergencia con la placa Cocos; la placa Caribe converge a una velocidad aproximada de 8 cm/año (Anderson & Anstrad, 1984).

Los focos que se encuentran relacionados con el mecanismo de subducción, definen que su buzamiento es hacia el Noreste de la zona de Benioff la cual se

extiende a profundidades que sobrepasan los 200 km debajo de América Central, formando así la Fosa Mesoamericana (Dengo, G. & Case J., 1990).

En el istmo Centroamericano la placa del Caribe se encuentra segmentada en varios elementos estructurales; el bloque Chortis que conforma América Central del Norte, este es de naturaleza continental y el bloque Chorotega de América Central Sur, de naturaleza oceánica. Se ha postulado que el Escarpe Hess con un rumbo Noreste se localiza en la parte Sur de Nicaragua y esté marca el límite entre los dos bloques dentro del Mar Caribe (Vebable, 1994).

Un tercer fragmento descrito con el nombre de Terreno Siuna, localizado entre el bloque Chortis y el Chorotega, posiblemente representa un fragmento del arco de Las Antillas Mayores, incrustando o adherido al margen Sur del bloque Chortis durante el inferior del cretáceo superior. Evidencia de esto es un basamento oceánico constituido por Serpentina, Cromita y rocas Ultra Básicas (Vebable, 1994).

Según Dengo & Case J., en 1990 mencionan que América Central se encuentra constituida por bloques tectónicos de diferente naturaleza cuyos márgenes has evolucionado a lo largo del Cenozoico, el cual se por presentar fallamiento horizontales, dichos bloques:

- 1- Bloque Maya: Su naturaleza es continental, está constituido de rocas ígneas y metamórficas, cubiertas por rocas sedimentarias del Paleozoico superior, está ubicado en la parte Norte de la placa Caribe (Dengo, G. & Case J., 1990).
- 2- Bloque Chortis: Su naturaleza es continental, constituido por rocas metamórficas de edades paleozoicas a Pre-Terciario, se encuentra delimitado por la Falla Motagua-Polochic y la Fosa Mesoamericana. En Nicaragua representado por el complejo metamórfico de Nueva Segovia, constituyendo las rocas más antiguas del país (Dengo, G. & Case J., 1990).
- 3- Bloque Chorotega: Es de naturaleza oceánica, con una secuencia de Ofiolitas de edad Cretácicas, constituidas por basaltos, gabros, peridotitas, sedimentos con restos de fósiles (Dengo, G. & Case J., 1990).

2.1.2.2. Geología Regional de Nicaragua

Una de las diversas clasificaciones disponibles para la descripción de las provincias, fue la propuesta, realizada por Hodgson, G., (1976), la cual consiste en dividir Nicaragua en cinco provincias que reflejan su geomorfología, geología tectónica, histórica y económica (Ilustración 3).

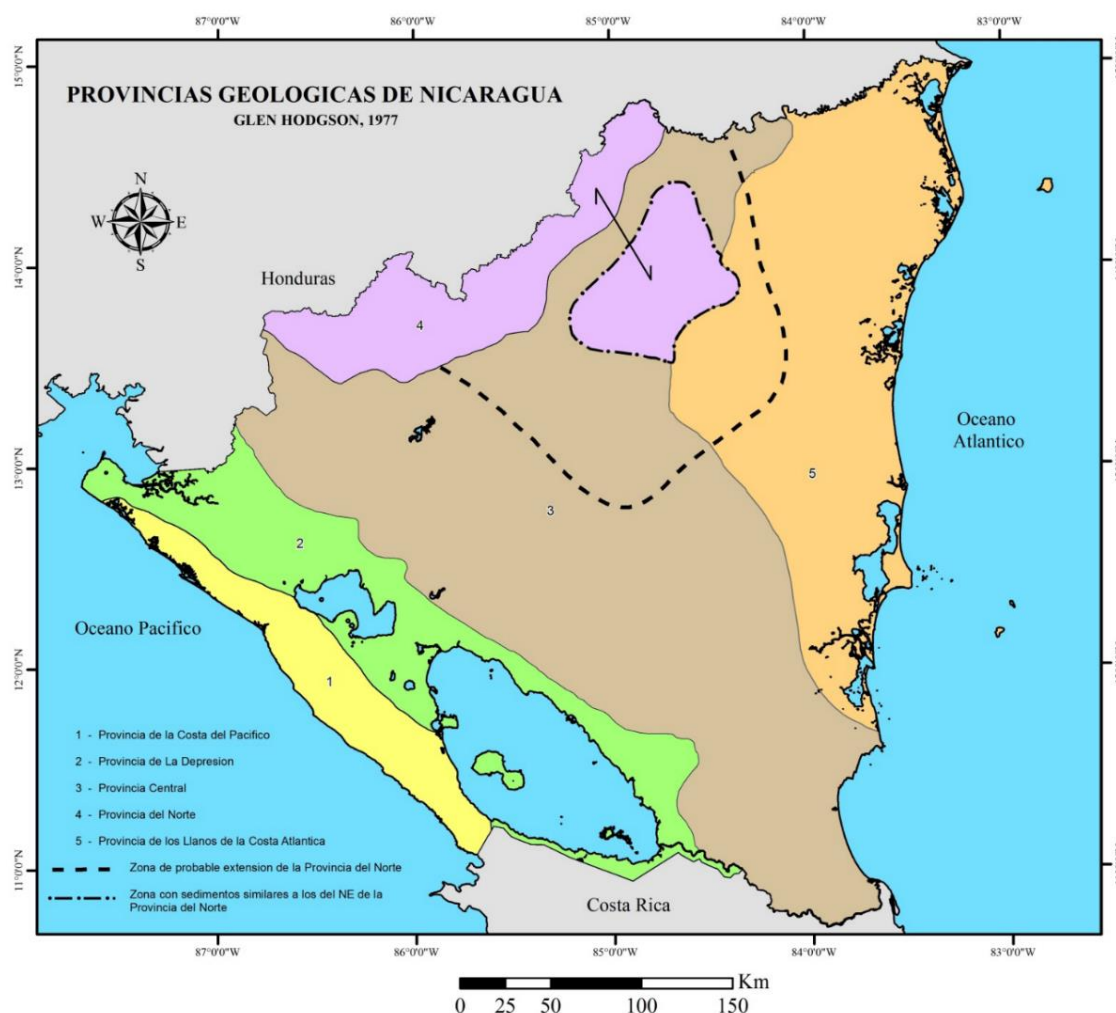


Ilustración 3. Mapa de las Provincias Geológicas según su Geomorfología, Geología tectónica, histórica y económica. Fuente: (Hodgson, G., 1977).

2.1.2.2.1. Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacífico

Esta provincia abarca la cuenca Sandino, y se encuentra en el margen pacífico de Nicaragua, en el occidente de la placa del Caribe esta extiende hasta el

graben, donde se ubica la cadena volcánica. Dentro de esta provincia se encuentran 6 formaciones sedimentarias (Rivas, Brito, Masachapa, El Fraile, El Salto, Sapoá) y formaciones volcánicas Las Sierras y Tamarindo (Hodgson, G., 2002).

Los tipos de rocas que se encuentran en estas formaciones son calizas, grauvacas, lutitas, conglomerados y tobas, excepto en la Formación Tamarindo que está representada por rocas volcánicas y en su parte inferior lutitas y areniscas pertenecientes a la formación El Fraile (Kuang, J., 1971).

2.1.2.2.2. Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua

La depresión de Nicaragua, es parte de la zona marginal del pacífico de Centroamérica, la cual se caracteriza por presentar una fosa de mar profunda, regiones de plataformas, arcos de islas activos y rasgos tectónicos activos.

En esta predominan las rocas volcánicas, depósitos piroclásticos y los sedimentos pertenecientes al Plioceno. Las rocas más representativas se encuentran en la serie piroclástica de la Formación Las Sierras y el Grupo Managua, también se encuentran flujos lávicos de actividad reciente (Hodgson, G., 2002).

2.1.2.2.3. Provincia Geológica del Norte

Se ubica en la parte Norte de Nicaragua y abarca los departamentos de Nueva Segovia, Madriz y ligeramente Norte del departamento de Estelí y gran parte del área central y Norte del departamento de Jinotega y Noroeste de Zelaya (Hodgson, G., 2002).

Esta provincia está constituida por rocas metamórficas que son consideradas las más antiguas del país, comprende rocas como mármol, cuarcitas, pizarras y otras rocas meta sedimentarias (Hodgson, G., 2002).

Garayar J., en 1972 describe que las rocas metamórficas aflorantes en Nicaragua, son de metamorfismo bajo las cuales comprende: filitas, mica-esquistos, cuarcitas, pizarras, mármoles, esquistos calcáreos hornblendicos- anfibolíticos y se

encuentran estrechamente relacionados con el basamento cristalino metamórfico de Guatemala.

En la provincia hay presencia de rocas sedimentarias como Calizas, lutitas y conglomerados, las cuales se encuentran agrupadas en las formaciones Metapán y Totogalpa, también existen rocas volcánicas Cretácica – Terciarias (Hodgson, G., 2002).

2.1.2.2.4. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica

Esta provincia forma parte de la cuenca de la Mosquitia, está comprendida entre el límite de la provincia del Norte, la Central, Rio Coco en el Norte y Rio Indio en el Sur, y en el Este el mar del Atlántico (Hodgson, G., 2002).

Según Hodgson, G., (2002), la provincia está caracterizada por el predominio de rocas sedimentarias del Pleistoceno, los sedimentos recientes están representados por las gravas, arenas y arcillas bajo la formación Bragman's Bluff y aluvionales recientes.

Los sedimentos Terciarios antiguos comprenden rocas como areniscas, lutitas y calizas, lo cuales forma la parte superior de la cuenca la Mosquitia y al Noroeste se encuentra un afloramiento de un gran batolito granitoide que es parte del batolito del Pacífico, la presencia de rocas extrusivas sobre la que predominan las andesitas que ocupan la parte central-oeste de la provincia, también describen la presencia de rocas sedimentarias mesozoicas y metamórficas (Hodgson, G., 2002).

2.1.2.2.5. Provincia Geológica Central de Nicaragua

Esta provincia se encuentra entre el límite Sur de la provincia del Norte, y el límite Oeste con la provincia de la depresión, al Sur limitada por el río Indio y al Este con los llanos de la Costa Atlántica. El Municipio de Santa María de Pantasma está dentro de esta provincia geológica y se encuentra comprendida entre flujos de lavas alternados por la actividad volcánica explosiva del Terciario (Hodgson, G., 2002).

En esta provincia, destacan los grupos Coyol que fue introducido en 1969, por lo geólogos Garayar J., Hodgson G., Ferrey C., Williams R. et al., y asignaron edad Mioceno – Plioceno al grupo de alternancias cíclicas de productos volcánicos básicos, intermedios e ignimbritas (Hodgson, G., 2000).

El Grupo Matagalpa fue introducido por McBirney & Williams, (1965), como la serie de rocas volcánicas indiferenciadas y sedimentos subordinados. Hodgson et al, (1983), subdivide al Matagalpa en tres formaciones: Matagalpa superior, constituida con sedimentos lacustres, basaltos y tobas; por riolitas y tobas; Matagalpa medio, representado por sedimentos tobaceos lacustres y fluviales; Matagalpa Inferior constituido por toba, ignimbritas y diques básicos. La edad del grupo se extiende desde el Eoceno hasta el Mioceno Medio.

El tercer grupo descrito por Hodgson et al., (1983), en donde realizo un levantamiento geológico del área Central -Este y a lo largo de la geotransversal Santo Tomás – El Rama, obteniendo evidencias de la presencia de un tercer grupo de rocas el cual está alternada por rocas básicas, tobas y sedimentos subordinados; la secuencia de este nuevo grupo de rocas comienza con sedimentos lacustres-marinos y termina con sedimentos marinos todo el conjunto fue asignado con el nombre de Pre-Matagalpa.

2.1.2.3. Definiciones y Consideraciones Geológicas

2.1.2.3.1. Cartografía Geológica

Es la expresión gráfica de la distribución geográfica de algunas de las características geológicas de alguna región ya que delimitan las áreas con características similares; agrupan los cuerpos rocosos de acuerdo a sus atributos, expresan las relaciones geométricas y temporales entres las unidades geológicas, con la finalidad de realizar mapas geológicos (Romo et al., 2010, p. 67).

Así un mapa geológico es un auxiliar en el registro de la información geológica obtenida en campo; funciona como material de análisis en la interpretación de una región; sirve como argumento para demostrar una tesis y

constituye un recurso para comunicar en forma sintética, conformación geológica y la evolución de una región (Romo et al., 2010, p. 67).

Características de la cartografía

Según Romo et al., (2010), las características que debe presentar una cartografía son:

- Representan la realidad.
- Representan geometría plana (Sistemas de Proyecciones).
- Representación Simplificada.
- Representación Convencional.
- Presenta una relación de la similitud proporcionada (Escala).

Fotogeología

Romo et al., (2010), La define como la disciplina que tiene como objetivo el estudio de la conformación geológica de una región a partir del análisis de imágenes fotográficas; debido a que las fotografías aéreas verticales constituyen una representación fiel de cualquier área, ya que muestran todos los rasgos del paisaje de acuerdo a una proyección central y son susceptibles de observar estereoscópicamente, con lo cual percibe un modelo tridimensional con la escala vertical exagerada (pág. 93).

Estereoscopia

Es un proceso que se realiza de manera natural cuando un observador mira simultáneamente dos imágenes de un mismo objeto que han sido captadas desde dos posiciones distintas y el resultado de ese proceso es la percepción de la profundidad o tercera dimensión (Cardenas, 2015). En la práctica el estereoscopia es un artefacto que nos orilla a observar mediante visuales paralelas imágenes dos imágenes y si estas tienen paralaje, propicia la percepción tridimensional habitual (Romo et al., 2010, p. 93).

2.1.2.3.2. Petrografía

Es la que se ocupa en la descripción detallada de las rocas, el análisis de las estructuras, la textura, la composición mineralógica de una roca, lo cual es un requisito necesario para su clasificación y posterior interpretación. Los datos que aporta el estudio de las texturas y las propiedades ópticas de los minerales en láminas delgadas son esenciales para interpretar la génesis de las rocas (Donaire, 2012, p. 1).

El microscopio de polarización de luz transmitida es la herramienta esencial para el estudio petrográfico de las rocas. La observación de las rocas requiere en primer lugar la preparación de una lámina delgada de un espesor fijo y uniforme de 30 micras (Castro, 2015, p. 11).

2.1.2.3.3. Geología Estructural

Es la rama de la geología que se encarga del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, la distribución geográfica de tales características, del tiempo geológico y las causas que las originaron, también es importante su identificación, descripción y representación gráfica en mapas, sin embargo la geología estructural se encarga de estudiar únicamente a las estructuras geológicas que son el productos de la deformación (Arellano et al., 2002, p. 5).

Tectónica

Es la que se encargan del estudio de los rasgos estructurales mayores de la tierra, de su distribución geográfica de las causas que la dieron origen. La tectónica se caracteriza por que divide a la litosfera en placas tectónicas que presentan diferentes tipos de límites, geometrías, velocidades y direcciones de desplazamientos (Arellano et al., 2002, p. 6).

Esfuerzo

El esfuerzo es un par igual y opuesto de fuerzas que actúan en un cuerpo, por unidad de áreas ($\sigma = \text{fuerza} / \text{Área}$). La magnitud del esfuerzo depende de la magnitud de la fuerza y el tamaño de la superficie sobre la que actúa. Los esfuerzos son de varios tipos; cuando se aplican esfuerzos en direcciones diferentes se denominan esfuerzos diferenciales. Si estos acortan un cuerpo se conocen como esfuerzos compresivos, pero tienden a alargar un cuerpo se conocen como esfuerzos tensionales (Ilustración 4). Cuando un esfuerzo no tiene un eje de aplicación, de decir las, fuerzas no son coaxiales, se denominan esfuerzos de cizallas (Arellano et al., 2002, p. 11).

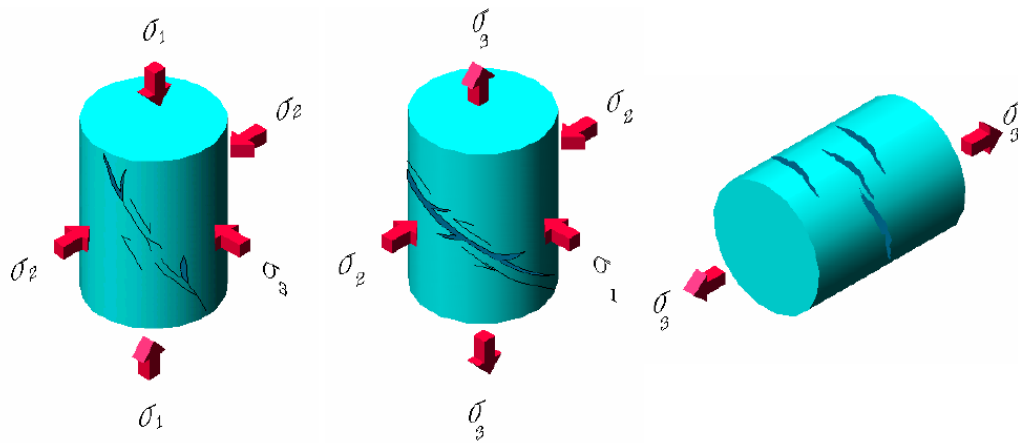


Ilustración 4. Muestra los diferentes esfuerzos, 4a) Compresión triaxial. 4b) Extensión Axial 4c) Tensión uniaxial. Fuente: (Arellano et al., 2002).

Deformación

Se refiere al cambio de forma y/o volumen que pueden experimentar las rocas, como resultado de esfuerzos aplicados una roca puede fracturarse o deformarse arrugándose. Esta deformación se produce cuando la intensidad del esfuerzo es mayor que la resistencia interna de la roca (Rodríguez, 2012, p. 7).

Cuando los materiales se deforman plegándose se habla de una deformación dúctil y cuando se fracturan se hablan de deformación frágil (Ilustración 5). Según

el comportamiento de la roca puede hablarse de deformación elástica, que es cuando la roca recupera su forma original tras cesar el esfuerzo y deformación plástica, cuando una roca es sometida a una deformación elástica y supera su límite elástico y sufre una deformación plástica, tras la cual ya no puede recuperar su forma original lo que ocasiona que las rocas se fracturen y tengan un comportamiento frágil (Rodríguez, 2012, p. 8).

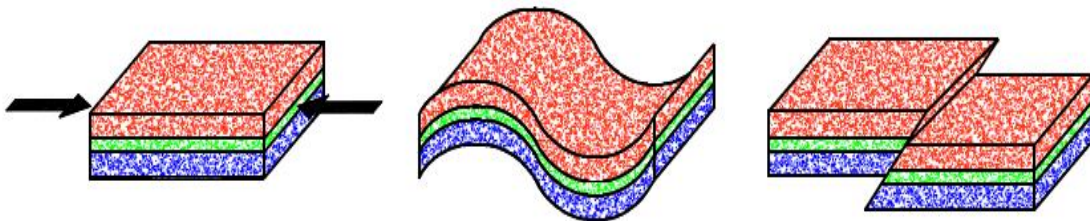


Ilustración 5. Representación de los tipos de deformaciones, 5a) Cuerpo sin deformar. 5b) Deformación dúctil. 5c) deformación frágil. Fuente: (Arellano et al., 2002).

Estructuras Geológicas

Es el arreglo espacial y temporal particular que guardan los componentes rocosos o un conjunto rocoso, estas presentan características geométricas distintivas y otros rasgos característicos de los que sobresalen la forma, el tamaño, sus límites, sus relaciones, su orientación, el tipo de material, su distribución geográfica, etc. Las estructuras geológicas dependiendo de su origen y características se pueden dividir en primarias y secundaria, como se muestran en la tabla 2 (Arellano et al., 2002, p. 6).

Tabla 2. Estructuras Geológicas.

Estructuras Geológicas			
Primarias		Secundarias	
En rocas ígneas		Rocas sedimentaria	Otros tipos Rocas
Intrusivas	Extrusivas	Estratificación	Pliegues
	Derrames	1) <i>Tabular</i>	1) Anticlinal
<i>Diques</i>	• Pahoehoe	2) <i>Gradada</i>	2) Sinclinal
<i>Mantos (sills)</i>	• Acordelada	3) <i>Cruzada</i>	3) Anticlinorio
<i>Lacolitos</i>	• En bloque	4) <i>Lenticular</i>	4) Sinclinorio
<i>Facolitos</i>	• Pillow lava	5) <i>Flaser</i>	5) Monoclinal
<i>Lapolitos</i>	• Aa	6) <i>Convoluta</i>	Fallas
<i>Tranco (Stock)</i>	Volcanes	Imbricación	• Normal
<i>Batolito</i>	• Escudo	Marcas de Carga	1- Horst
	• Estratovolcán	Grietas de Desección	2- Graben
	• Cinerítico	Huellas de Lluvia	• Inversa
	• Caldera	Marcas de Base	1- Cabalgadura
	• Domo	Rizaduras	2- Sobrecorrimiento
	• Diaclasas	• Oscilación	3- Napa
		• Corriente	4- Clippa
			5- Ventana Tectónica
			• Lateral
			1- Izquierda
			2- Derecha
			Fracturas

Fuente: (Arellano et al., 2002).

2.2. Hipótesis

El área de estudio se ubica en el sector Noroeste del municipio de Santa María de Pantasma, en la Provincia Geológica Central de Nicaragua. De acuerdo a Hodgson, G. y Darce, M., (1985), la geología regional en esta zona presenta un predominio de rocas volcánicas de edad Terciaria, pertenecientes al grupo Coyol y Matagalpa. Así mismo, Garayar. J., (1971), señalan la existencia de rocas metamórficas en la zona de Quilali, generadas por un metamorfismo regional. Por lo tanto dada estas condiciones geológicas es posible que las rocas metamórficas pertenecientes a la provincia del Norte, puedan extenderse hasta el sector Noroeste de Pantasma.

En esta investigación se pretende comprobar el contacto entre las rocas metamórficas del Paleozoico y formaciones geológicas del grupo Coyol y Matagalpa.

Capítulo III

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación se denomina Mixto, ya que integra métodos cualitativos y cuantitativos. Cualitativos porque se realizó una descripción litológica de la unidades de rocas en la zona de estudio, cuantitativa porque se midieron parámetros estructurales como rumbo, buzamiento, dirección del buzamiento con los cuales se determinaron las orientaciones preferenciales de fallas y fracturas, mediante el usos de los software Rozeta y Stereonet.

3.1.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio de la investigación es exploratorio y descriptivo, debido a que se orienta a caracterizar los datos que se obtuvieron en campo.

Estudio exploratorio: Son aquellos que tienen como objetivo examinar un tema o problema de investigación que ha sido poco estudiado del cual se tiene muchas dudas o no se ha abordado antes (Sampieri et al., 2014). En este caso en el tema, no se encuentra mucha información de manera detalla y la que existe no está actualizada.

Estudio descriptivo: Busca especificar las propiedades, las características, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, es decir únicamente pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta (Sampieri et al., 2014). En este caso se realizó una descripción de las todas las unidades litológicas que se encuentra aflorando y las estructuras geológica y diferentes fases de fallamiento en la zona de estudio.

3.1.3. Área de estudio

La investigación se realizó en el sector NW del Municipio de Santa María de Pantasma, Departamento de Jinotega, Nicaragua.

3.1.4. Universo y Muestra

El universo es definido como el total de elementos que se tiene interés, en esta investigación el universo corresponde a la geología y geología estructural del sector NW de Santa María de Pantasma. La muestra representa un subgrupo más detallado que corresponde a las unidades litológicas (andesita, riolitas, ignimbritas) y las principales estructuras del área (falla, fracturamiento, lineamiento, estructuras volcánicas).

3.1.5. Variables y Operacionalización de la variable

Tabla 3. Operacionalización de la variable (MOVI)

Objetivos específicos	Variable conceptual	Sub variables o dimensiones	Variable operativa o indicador	Técnicas de recolección de datos e información
<u>Objetivo específico 1</u> Definir las unidades geomorfológicas del área de estudio.	Unidades geomorfológicas	-Topografía -patrones de drenaje - Geoformas	Análisis geomorfológico	Ficha técnica de elementos geomorfológicos
<u>Objetivo específico 2</u> Caracterizar las diferentes unidades litológicas para proponer una columna por medio de correlaciones estratigráficas de las formaciones geológicas en el sitio de investigación.	Unidades litológicas	-Tipo de Rocas -Espesor de capas -Textura de la roca. - Color	Descripción litológica de afloramientos	Ficha técnica de campo
<u>Objetivo específico 3</u> Elaborar un análisis petrográfico para clasificar las rocas mediante la observación microscópica de láminas delgadas.	Tipo de rocas	-Tipo de Minerales - Propiedades microscópicas de los minerales	Reconocimiento mineralógico	-Tabla de propiedades de minerales -Diagrama de Streckeisen

				-Diagrama Kfps-Qz-Mi
<u>Objetivo específico 4</u> Determinar orientaciones preferenciales y los tipos de estructuras geológicas para analizar las fases de deformación en la zona de estudio.	Estructuras geológicas	-Tipo de falla -Tipo de fracturas -Indicadores cinemáticos	-Dirección preferencial de las estructuras -Fases de deformación	-Ficha técnica de elementos estructurales -Diagrama de rosa

Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Métodos, Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información

3.1.6.1. Métodos de recolección de información

Se recopiló información como, estudios geológicos, artículos, tesis, libros, u otros trabajos realizados, fotografías aéreas del área de estudio a escala 1:40,000 facilitadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), así como también las hojas topográficas que abarca el sector NW del municipio de Santa María de Pantasma.

Se visitaron centros de documentación relacionados con el tema de estudio; Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Centro de Documentación, (CEDOC-IGG/CIGEO-UNAN-Managua), CEDOC del Ministerio de Energía y Minas, así como sitios web.

3.1.6.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información

Entre los instrumentos para la recolección de datos, se utilizó un estereoscopio de espejos para la descripción e interpretación de estructuras geológica mediante el análisis de fotografías aéreas.

También se hizo uso de una ficha técnica de campo, para obtener información geológica y estructural del sitio mediante la descripción de los

afloramientos, a partir del uso de herramientas como, brújula, Lupa x10, GPS Garmin 64S, piqueta, cincel, mazo, cinta métrica, ácido clorhídrico.

Análisis mediante software: se utilizó ArcGis 10.5, el cual es un programa que permitió recopilar, administrar y analizar información geográfica, también se usó como infraestructura para la elaboración de mapas de pendiente, altimétricos, energía de relieve y geológicos, para la elaboración del perfil geológico se utilizó la herramienta de dibujo AutoCAD 2018. El programa Streckeisen 1.0, permitió dar una clasificación a las rocas volcánicas mediante el porcentaje de Cuarzo, Feldespatos, Plagioclasas. También se utilizó los software Rozeta 2.0, Stereonet 10.0, cual sus función principal fue dibujar rosetas de fracturas, donde se mostraron las direcciones preferenciales de las estructuras geológicas.

Análisis Petrográfico: Se usó un microscopio de luz polarizada, el cual mediante secciones delgadas de rocas se observaron todas las propiedades ópticas y se realizaron estimaciones visuales de los porcentajes de minerales, cuales se utilizaron en diagramas triangulares como Streckeisen, y el diagrama Kfps-Qz-Mi, que sirvieron para dar una clasificación y nombre a las rocas encontradas en el área de estudio.

3.1.7. Procedimientos para la recolección de datos

Se elaboró un mapa base, que sirvió para la etapa de campo. Este se hizo mediante la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:40,000. Las estructuras y contactos fueron extraídos de las fotografías aéreas de la línea de vuelo N° 58 y fueron dispuestos sobre un mapa de curvas de nivel, obtenida a partir de un modelo de elevación digital del terreno (DEM), editados y trabajados con el programa ArcGis 10.5.

Se visitó el área de estudio con la finalidad de corroborar la información obtenida en la etapa de gabinete, donde se localizaron los principales afloramientos y se describieron las unidades litológicas presentes, también se realizó un levantamiento de las estructuras en el área, utilizando como guía el mapa base previamente elaborado.

La realización de esta etapa consistió en las siguientes actividades:

Reconocimiento geológico de campo.

- Se realizó una descripción macroscópica de las rocas, así como su mineralogía, su color, sus alteraciones, su textura etc.
- Muestreo de rocas aflorantes que sean representativas.
- Medición de patrones estructurales tales como: rumbo, buzamiento, dirección del buzamiento, etc.

3.1.8. Plan de Análisis y procesamiento de datos

Una vez terminada la etapa de campo se analizaron y procesaron todos los datos obtenidos, se elaboró un mapa geológico en cual se delimitaron los contactos de las principales unidades litológicas del área, fallas, lineamientos y todas las estructuras geológicas encontradas en campo.

Se realizaron secciones delgadas con las muestras de rocas más representativas obtenidas durante el levantamiento geológico, con la finalidad de poder describir su composición mineralógica con un microscopio petrográfico del Instituto de Geología y Geofísica IGG-CIGEO/UNAN-Managua, con este análisis petrográfico se pudo identificar las características de cada roca y de esta manera se describieron las unidades litológicas en base a las características mineralógicas que presentan.

Con los datos que obtenidos de las mediciones de las estructuras se elaboraron rosetas de fracturas para definir la dirección del esfuerzo máximo y las fases de deformación que se encuentren afectando al área de estudio, dichas rosetas se realizaron con los programas Rozeta 2.0 y Stereonet 10.0.

Capítulo IV

4. Análisis y discusión de los resultados

4.1. Geomorfología

Se realizó una clasificación de las formas que presenta el relieve a partir de su origen, su morfogénesis, su morfodinámica y sus características morfométrica, esto para realizar el mapa de unidades geomorfológicas.

4.1.1. Morfometría

Los elementos principales posibles para cuantificar a partir de formas del relieve son: longitud, superficie, volumen, altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad, frecuencia y otros elementos numéricos. Estos parámetros tienen variantes y también se conjugan entre sí, de tal manera que los estudios morfométricos van de los métodos más simples, hasta los más complicados en los que se aplican matemática superiores. Los métodos morfométricos permiten la elaboración de mapas específicos que contribuyen al conocimiento del relieve terrestre (Lugo, 1998).

Es por eso que para la clasificación geomorfológica de la zona estudiada se realizaron mapas morfométricos previos, estos permitieron tener un primer conocimiento geomorfológico de la zona, se consideraron lo siguientes mapas para realizar el análisis morfométrico:

4.1.1.1. Mapa Altimétrico

El mapa altimétrico o hipsométrico es el inicial y uno de los más importantes, consiste en definir a partir de las alturas máximas y mínimas los intervalos de valores que han de delimitarse con el fin de que exprese de manera inmediata y clara el relieve en su totalidad (Lugo, 1998).

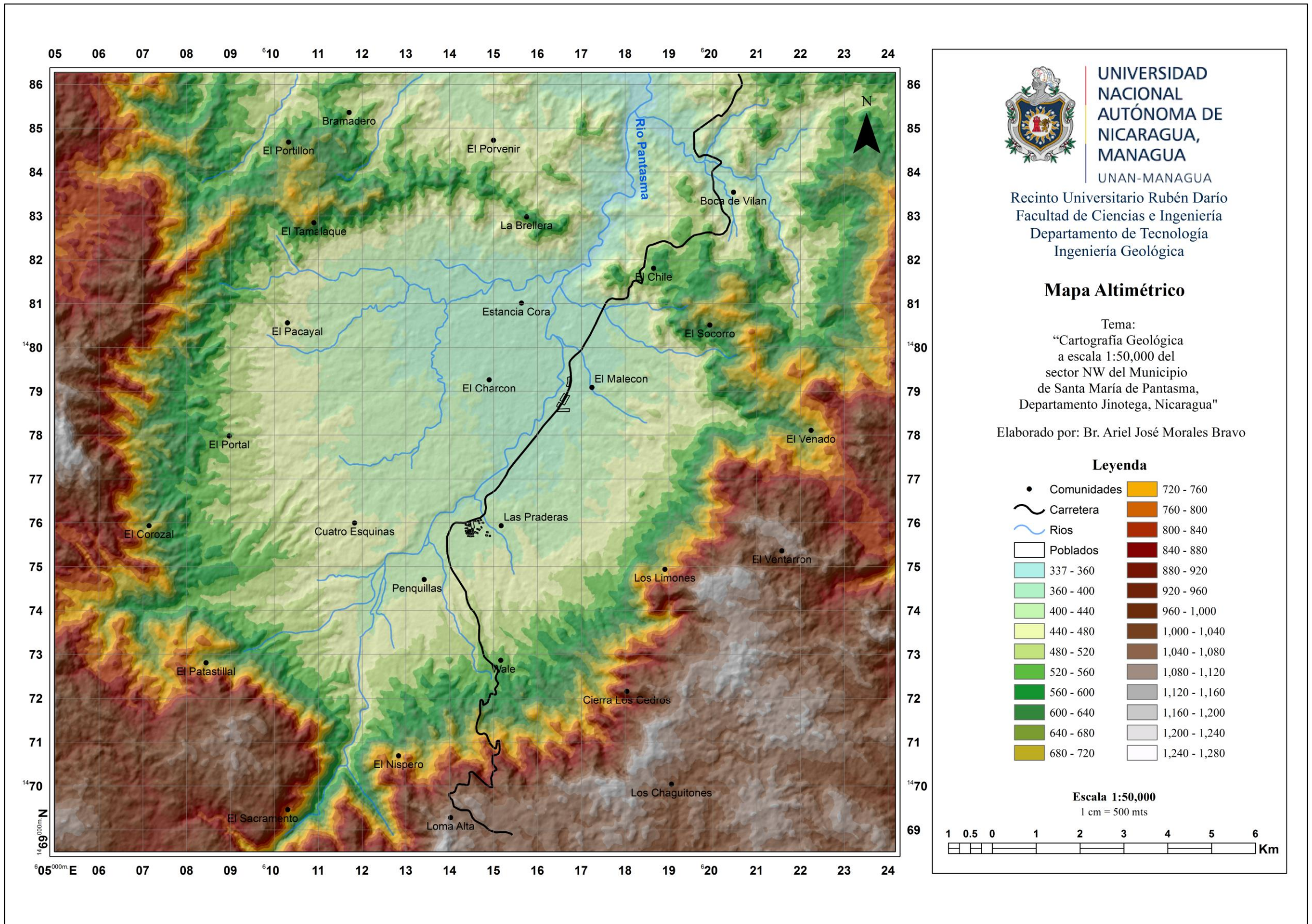
El mapa altimétrico del área de estudio presenta una gama de colores con tonos fríos para las zonas bajas y los tonos cálidos para las zonas más elevadas, conforme el análisis de este mapa se identificó que en la parte Sur y Sureste del

área de estudio se concentran las mayores alturas y descienden de manera gradual hacia la zona Norte, exceptuando algunas elevaciones medias en el sector Noroeste; definiendo así tres zonas altitudinales:

La primera corresponde a las zonas más elevadas, mismas que comprenden los 1000 a 1280 m.s.n.m, que corresponden a relieves abruptos y montañosos, así también como estructuras circulares asociados a antiguas calderas y cráteres erosionados.

La zona media corresponde a la transición entre la base de las calderas y las planicies, constituido principalmente productos volcánicos expulsados por la caldera Pantasma, dichos productos son distribuidos en el área de estudio entre 520 a 960 m.s.n.m.

La tercera zona corresponde a las planicies, distribuidas entre los 330 a 480 m.s.n.m, esta ocupa las partes bajas del terreno y contiene cuerpos de aguas importantes como el Rio Pantasma (Ilustración 6).



4.1.1.2. Mapa de Densidad de Disección del Relieve

Es el equivalente a la densidad de corrientes fluviales, pero se diferencia de este porque su objetivo no son las corrientes en sí, sino el resultado de su acción. Este mapa se trata de parámetros asociados al régimen hidrogeológico: infiltración, escurrimiento, precipitación; se relaciona con el tipo de rocas y estructuras geológicas; con procesos de erosión fluvial y gravitacionales (Lugo, 1998).

El principal de los agentes modeladores de la superficie terrestre es el agua que disecciona el relieve original por medio de las esorrentías y las corrientes temporales y permanentes (Lugo, J. y Martínez, V., 1980). En efecto, sobre una superficie que pudo ser inicialmente continua, el escurrimiento superficial de las aguas puede organizarse a través de ciertas líneas, para convertirse en un escurrimiento concentrado o lineal, en el que las aguas fluyen a lo largo de un cauce y erosionan la superficie sobre la cual corren, interrumpen la continuidad de la superficie inicial; su densidad, permite establecer el valor de la disección del relieve (Martínez et al., 2006).

Este mapa se expresa cuantitativamente sobre la base de la densidad del drenaje y se estima a partir de la suma total de las longitudes de los cursos fluviales por unidad de área en km^2 (Cruz et al., 2010).

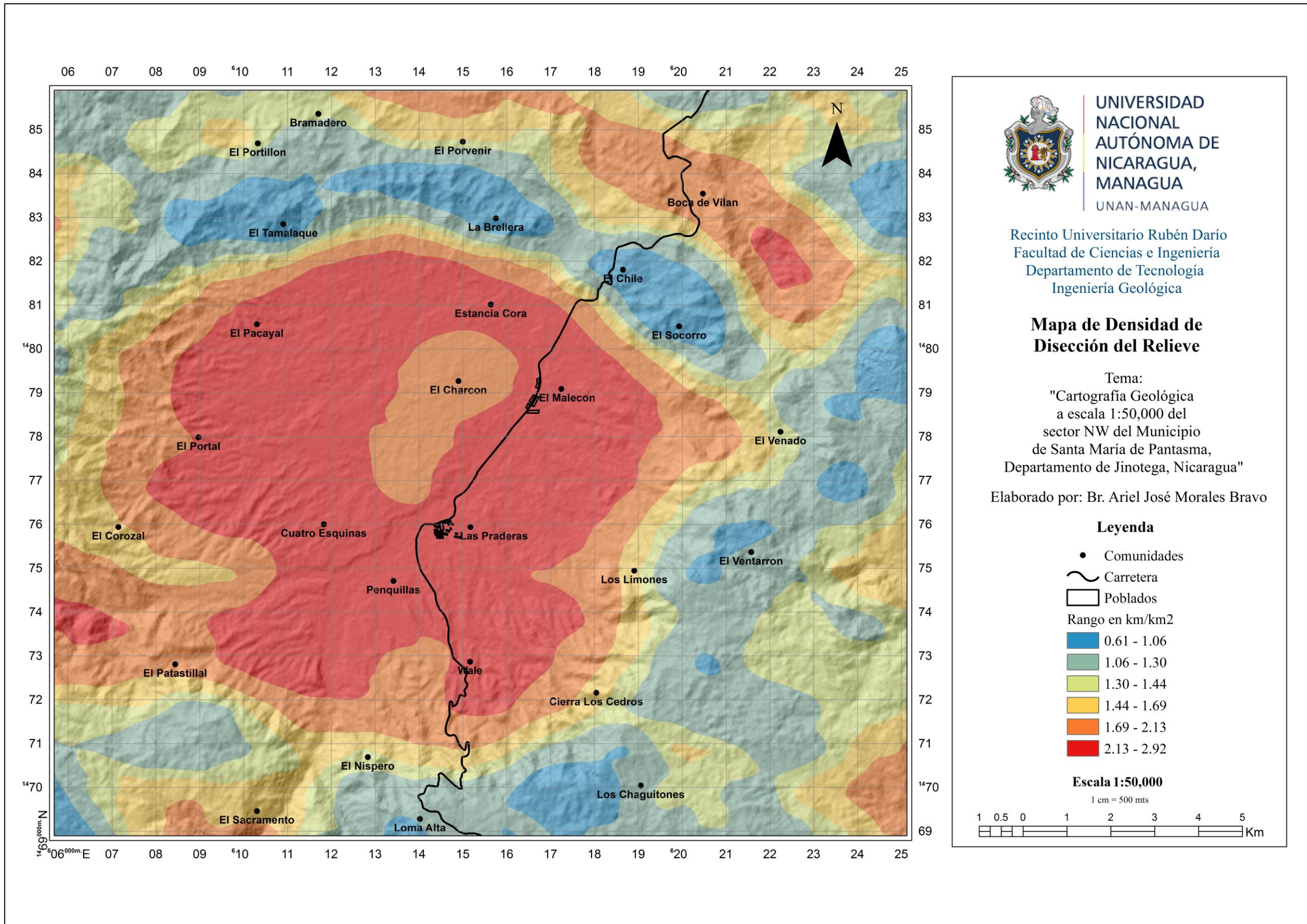
El mapa representa el factor geomorfológico e identifica áreas, en las cuales se manifiesta una alta densidad de drenaje y que corresponden con aquellos sectores donde existe un mayor número de causas por kilómetro cuadrado o donde la sinuosidad o meandricidad de estos es considerablemente mayor. Con este mapa se determinaron 3 rangos de valores de densidad en el área de estudio: bajos, medios y alto.

La densidad de disección en zonas elevadas presenta rangos más bajos, en las transiciones rangos medios y en las zonas de planas estos rangos son mucho más altos. Los valores de densidad aumentan cuando se reduce la pendiente, esto ocurre en zonas donde la roca se encuentra alterada, haciéndola vulnerable a los

efectos del agua y por ello las corrientes comienzan a concentrarse y desarrollan redes fluviales dendríticas y algunas zonas subparalelas.

Los valores bajos de disección del relieve se presenta con tonos azules y se encuentran en el rango de 0.61 – 1.06 km/km² los cuales representan superficies débilmente y ligeramente diseccionadas, ubicándose en la parte Sureste y Norte de la área de estudio, con pendiente de 30 a 45 grados que corresponde zonas con relieves montañosos. Los valores medios presenta tonos amarillos y están en el rango de 1.30 – 1.69 km/km², representando superficies ligeramente diseccionadas que se ubican en los extremos de la caldera Pantasma y en la zona Norte presentando así pendientes de 3 a 12 grados.

Los valores altos de densidad se ubican en parte central y Norte del área de estudio, se presentan con colores rojos y corresponden a zonas medianamente diseccionadas con rangos de 1.69 -2.92 km/km², con pendientes de 0 a 3 grados, lo que ocasiona que el agua no se escurra y forme tramos de la red fluvial con mayor desarrollo de llanuras de inundación, mayor probabilidad de migración lateral del cauce y una amplia distribución de sedimentos aluviales (Ilustración 7).



4.1.1.3. Mapa de Energía del Relieve

Este mapa representa el cambio de elevación por área, la energía del relieve está ligada al concepto de disección vertical del relieve (Quesada et al., 2014). La energía del relieve se expresa, cuando se trata de grandes territorios cartografiados, la intensidad relativa de la actividad endógena en relación con la exógena, altos valores de energía pueden corresponder a zonas con mayor actividad tectónica; en caso contrario a otras más estables (Lugo, 1998).

La energía del relieve está determinada por parámetros como la composición geológica, la susceptibilidad del sustrato a ser erosionado, presencia de estructuras disyuntivas y la inclinación del terreno, lo que permite diferenciar áreas con mayor o menor amplitud (Quesada, A. y Castillo, G., 2017).

En el mapa resultante del área de estudio se determinaron 5 rangos que marcan tendencias claras entre valores bajos con tonos verdes, los medios de color amarillo y los altos con colores anaranjados y rojos. En el mapa de energía es clara la diferencia los valores más altos concentrados en la zona Sur, Este y Oeste del área de estudio, por otra parte los valores medios y bajos tienden a ubicarse en los extremos de la caldera Pantasma y en la zona Norte (Ilustración 8).

Los valores bajos están asociados a zonas donde las inclinaciones del terreno son bajas; por tanto la separación en entre curvas de nivel es amplia y no permite el desarrollo de rupturas claras de pendientes; estos rangos se localizan en las amplitudes del relieve entre 25 y 159 m/km². A manera de transición se logró identificar variaciones entre 159 y 219 m/km² que se presentan entre los valores más bajos y altos. Los valores altos presentan amplitudes del relieve de 219 a 409 m/km², los cuales tienden agruparse hacia el Sur, Este y Oeste del área de estudiada.

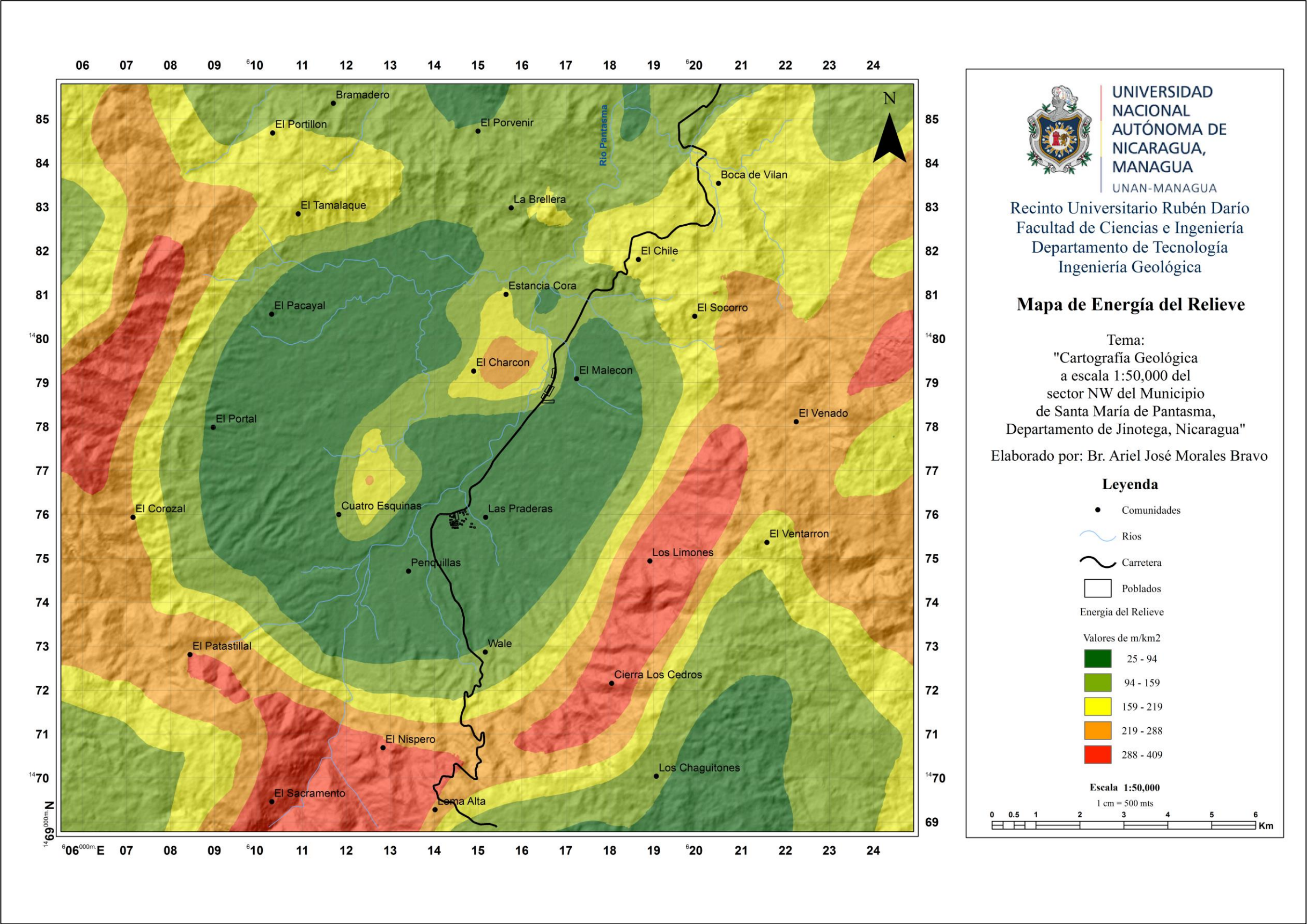


Ilustración 8. Mapa de energía del relieve. Fuente: Extraído de un DEM de la base de datos de la NASA EOSDIS (ASF Data Search Vertex, 2011).

4.1.1.4. Mapa de Pendientes

La pendiente del terreno constituye uno de los factores más importantes en la remoción en masa. En área de pendientes abruptas la erosión hídrica y los procesos se manifiestan con mayor intensidad (Quesada et al., 2014). El mapa es una representación de la diferencia entre las elevaciones de las curvas de nivel y el espacio existente entre ellas, lo cual permite identificar los diferentes patrones morfológicos y diferencia de pendientes basado en el cambio de coloración.

En el mapa de pendientes de la zona estudiada, se utilizaron colores verdes oscuro para definir las zonas planas que presentan pendientes de 0-3°, verde claro, para aquellas zonas que son ligeramente inclinadas con pendientes de 3-12°, amarillo para las zonas con pendientes de 12- 30°, anaranjado para las zonas que presentan pendientes abruptas que van de 30-45°, rojo para algunos sitios que muestran laderas escarpadas con una inclinación mayor a los 45°.

De acuerdo al análisis del mapa se definieron las siguientes zonas:

Zonas con pendientes suaves (0-12°), representa la zonas planas, interpretadas como llanuras aluviales y relieves erosionados de la parte central y Norte del área de estudio.

Zona con pendientes medias (12-30°) son las más predominantes en el área de estudio y representan sitios poco escarpados asociados a lomas alargadas y redondeadas.

Zona con pendientes elevadas (30- 45°) muy elevadas (>45°), son expresadas como zonas escarpadas, cuales definen estructuras circulares como la caldera de Pantasma (Ilustración 9).

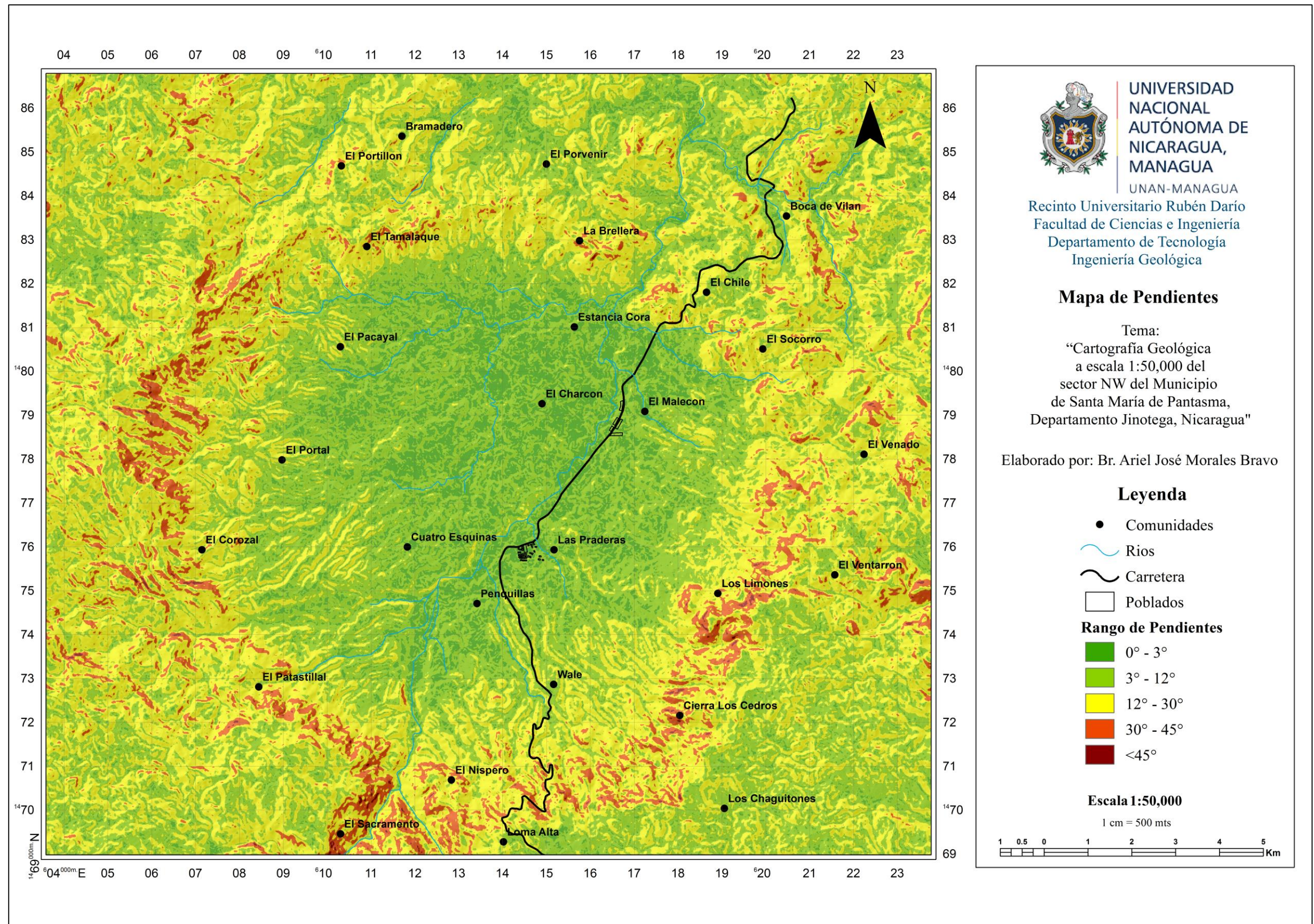


Ilustración 9. Mapa de Pendientes. Fuente: Extraído de un DEM de la base de datos de la NASA EOSDIS (ASF Data Search Vertex, 2011).

4.1.1.5. Mapa de Órdenes de Corrientes

El análisis de este mapa parte de la consideración de que las órdenes de corrientes son reflejo de un proceso evolutivo. Las de primer orden son las más jóvenes, con valles de formación incipiente. Las de órdenes mayores, en general, reflejan las etapas más antiguas del desarrollo de la red fluvial y en muchos casos son indicadores de estructuras sobre las que se han desarrollado los valles fluviales (Lugo, 1998).

Las aguas superficiales de la zona de estudio drenan en dos direcciones, una hacia la parte central que constituye el 70% de la red fluvial y el 30% restante drenan al Norte y Noreste. El sistema de drenaje en general es de tipo dendrítico debido a que la zona presenta una litología bastante homogénea, constituido por andesitas de baja permeabilidad, la forma de patrón dendrítico está determinado básicamente por la dirección de la pendiente del terreno, en algunos sectores se muestra un drenaje sub paralelo, que representa zonas con litología homogéneas, expresiones topográficas uniformes y suaves en las que las corrientes principales reflejan fallas o fracturas y los tributarios suele unirse creando ángulos casi iguales.

En el mapa se observa que las corrientes iniciales correspondientes a las de primer y segundo orden, indica que el modelado de la superficie es relativamente joven y que la erosión hídrica de estas corrientes es alta y ocasiona gran acumulación de material que se depositan en las zonas planas.

Las corrientes de tercer y cuarto orden forman los ríos Pantasma y Zanizabu los cuales fluyen de Sur a Norte, donde se depositan los materiales que son transportados de las zonas más altas por las corrientes de orden uno y dos (Ilustración 10).

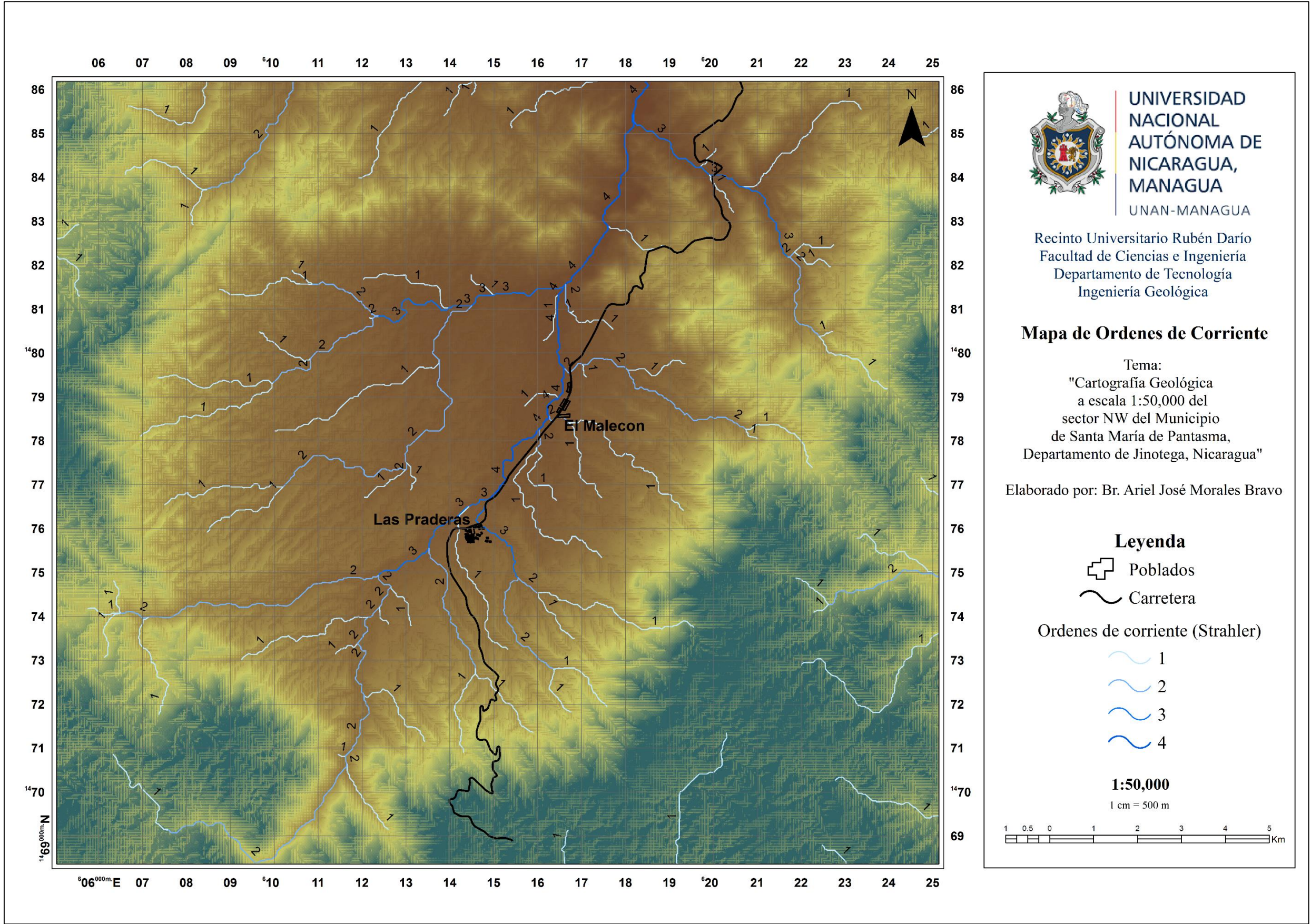


Ilustración 10. Mapa de órdenes de corrientes. Fuente: Extraído de un DEM de la base de datos de la NASA EOSDIS (ASF Data Search Vertex, 2011).

4.1.2. Unidades Geomorfológicas

El área de estudio en términos fisiográficos se encuentra localizada en la provincia de las montañas altas de interior, cuyas elevaciones pueden alcanzar los 1700 m.s.n.m. (Hodgson, 1982, p.5)

Según Hodgson, G. (2000), ubica la zona de estudio en la Provincia Geológica de la Región Central y parte de la Provincia del Norte, donde las características topográficas, la intensidad de la erosión y las estructuras geológicas, son factores predominantes en el área y tienden a reflejar la geomorfología de las diferentes unidades de rocas (Hodgson, 1982, p.5), en las cuales se caracterizan por cerros altos en forma redondeadas, zonas montañosas y relieves escapados.

La zona de estudio se encuentra dividida en cinco unidades, de acuerdo a su morfología y características fisiográficas, se describe a continuación:

- Unidad de Llanuras Aluviales - Al
- Unidad de Lomas Erosionadas- Le
- Unidad de Colinas y Cerros Escarpados- Cce
- Unidad de Relieves Abruptos y Montañosos- Rm
- Unidad de Cráteres y Calderas -Cc

4.1.2.1. Unidad Llanuras Aluviales - Al

Se localiza en el sector Noreste y se extiende hasta la parte Suroeste y centro, depositados por el curso del río Pantasma, que se caracteriza por presentar zonas llanas o planas en las cuales se han acumulado sedimentos reciente debido a los procesos de erosión, transporte y deposición. La unidad presenta un drenaje tipo dendrítico y se encuentra en las cotas de elevación de 300 - 440 m.s.n.m con pendientes que van de 0° a 3° (Ilustración 11).



Ilustración 11. Llanuras aluviales en la comunidad La Estancia Cora (N1481696 – E0612369).

4.1.2.2. Unidad de Lomas Erosionadas- Le

Esta se encuentra ampliamente extendida en el sector Norte y Noroeste donde está caracterizado por presentar lomas en forma de cuchillas alargadas y redondeadas, compuesto por rocas metamórficas y brechas aglomerados, esta se extiende hacia el sector Sur del área de estudio, el cual presenta colinas suaves y onduladas, representadas por andesitas e ignimbritas, su expresión topográfica son elevaciones que van de los 440-600 m.s.n.m con pendientes de 3 a 30° y un drenaje sub paralelo y dendrítico (Ilustración 12).

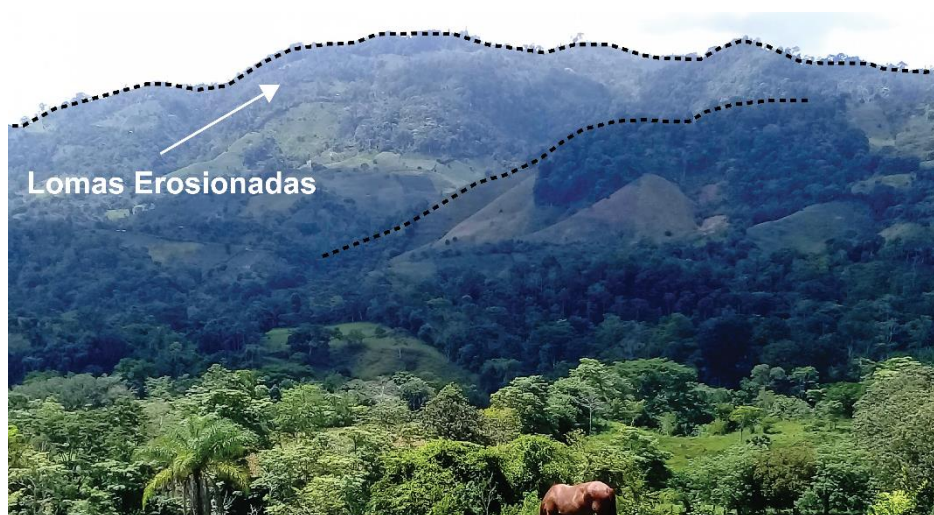


Ilustración 12. Cerró El Patastillal, foto tomada desde la comunidad Cuatro Esquinas (N1475100 – E0610500).

4.1.2.3. Unidad de Colinas y Cerros Escarpados- Cce

La unidad se encuentra distribuida en el sector Sur y Noroeste, se caracteriza por presenta relieves diversos, como colinas escarpadas con pendientes que superan los 45° y presenta un sistema de drenaje sub paralelo y dendrítico dominando por el control estructural de las fallas y fracturas, se encuentra dispuesta sobre andesitas, riolitas e ignimbritas, la unidad presenta elevaciones que van de 640 - 1000 m.s.n.m (Ilustración 13).



Ilustración 13. Colinas y cerros escarpados, foto tomada en la comunidad El Níspero (N1470845 – E0611750)

4.1.2.4. Unidad de Relieves Abruptos y Montañosos- Rm

La unidad se encuentra distribuida en el sector Sureste y Suroeste, morfológicamente esta representa por zonas montañosas con elevaciones de 1000-1200 m.s.n.m, con pendientes de 30 a 45° y las rocas que origina la unidad son riolitas e ignimbritas y presenta un drenaje tipo dendrítico (Ilustración 14).



Ilustración 14. Montañas Los Cedros, foto tomada en la comunidad El Portal (N1477768 – E0608363).

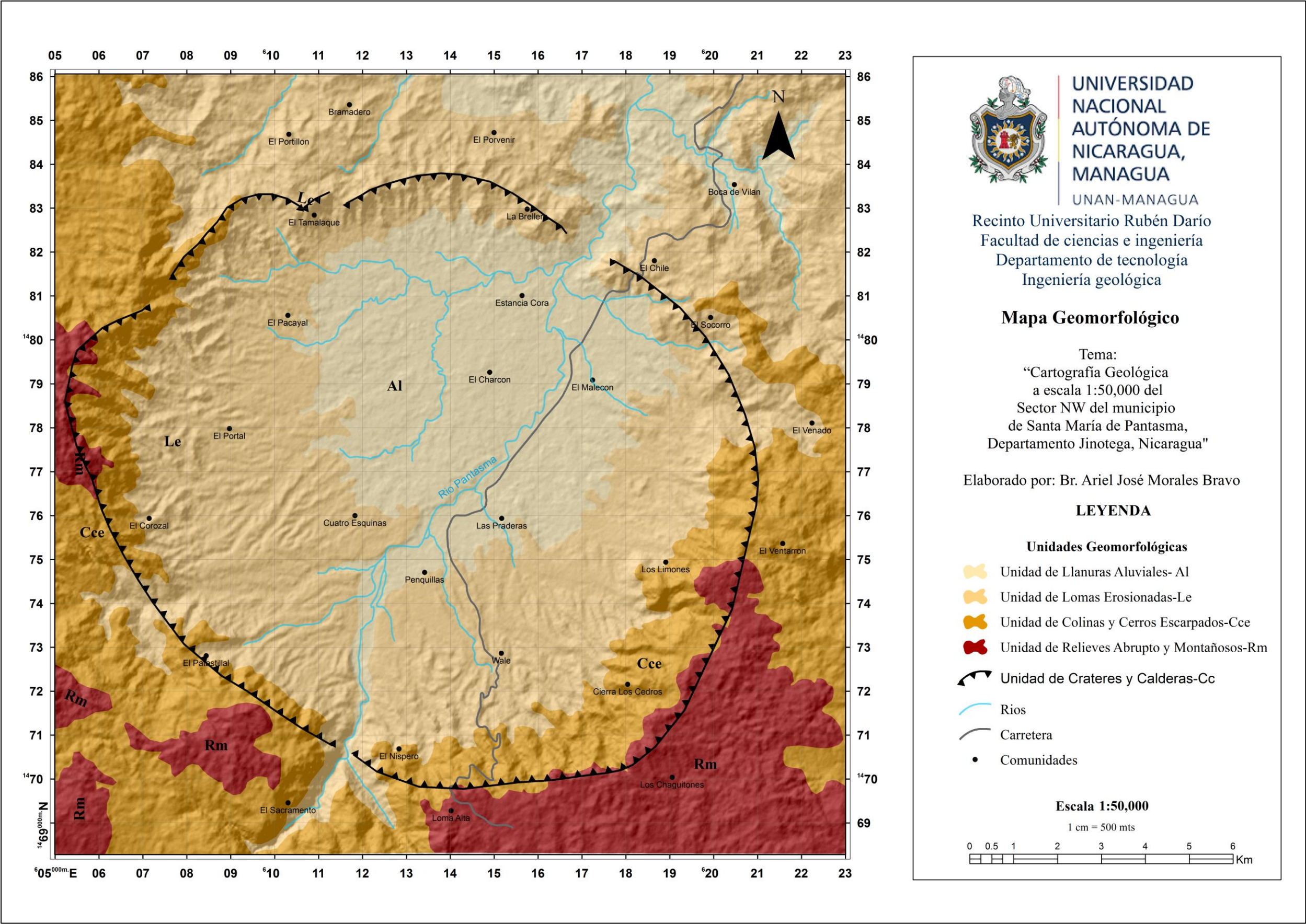
4.1.2.5. Unidad de Cráteres y Calderas- Cc

La unidad presenta formas como calderas y cráteres erosionados, relacionados a estructuras volcánicas en forma circular y otras veces estructuras semicirculares, las cuales fueron originados por el colapso de las primeras estructuras, las paredes de dichas estructuras se presenta de forma casi verticales o sub verticales, estas se encuentran en el sector Sur, Suroeste y Noroeste, generando así la Caldera de Pantasma

La unidad se encuentra representada por rocas volcánicas de las unidades andesítica, ignimbrítica y riolíticas; el drenaje que presenta es sub paralelo y dendrítico (Ilustración 15).



Ilustración 15. Borde NW, caldera Pantasma (N1482035 – E0609992).



4.2. Geología Local

El área de estudio se encuentra dentro de la Provincia del Norte y Central respectivamente. Hodgson, G. y Darce, M., (1985), señalan la existencia de un basamento metamórfico (PTm), constituido por facies metamórficas de bajo grado, representado por esquistos verdes cuales se encuentran en contacto discordante con rocas volcánicas del Terciario pertenecientes al Grupo Matagalpa (Tomm) y Grupo Coyol (Tpcs).

Durante el trabajo de campo en el área de estudio se logró identificar 6 unidades litológicas que a continuación se describen de la más antigua a las más recientes según el orden en que se depositaron:

- Unidad de rocas metamórfica -PTm
- Unidad brecha aglomerado -Tomms (b)
- Unidad andesítica –Tomms (a)
- Unidad ignimbrítica –Tomms (i)
- Unidad riolítica -Tpci
- Unidad Cuaternario aluvional –Qal

4.2.1. Unidad de rocas metamórficas - PTm

Esta unidad se localiza en el sector Noreste y Noroeste de la zona estudiada, está constituida por rocas metamórficas de bajo y medio grado, como las filitas, esquistos, esquistos grafitosos y cuarcitas. Morfológicamente está presenta cerros en forma de cuchillas alargadas y lomas redondeadas con moderas pendientes y elevaciones que varían de 400-600 m.s.n.m.

Esta unidad de roca presenta sus mejores afloramientos en el sector Noroeste en las comunidades el Bramadero, El porvenir y La Brellera, se extiende hasta el sector Noreste en la comunidad de Boca de Vilan.

En la Brellera (N1483100 - E0612906), afloran esquistos con pequeños plegamientos (Ilustración 17), estos se encuentran muy meteorizados y se pueden observar en los cortes generados por la construcción de los caminos.



Ilustración 17. Esquistos con pequeños pliegues. La Brellera (N1483100 - E0612906).

En el sector del Bramadero (N1484450 - E0612330) se encuentra una secuencia de filitas y esquistos, cuales se presenta con pequeños plegamientos, más al Norte a lo largo del río El Bramadero (N1484529 - E0612375) afloran esquistos grafitosos, tienen fracturas que están rellenas de cuarzo blanco, aquí la acción del río ha provocado que la roca se encuentre muy erosionada y que sea muy friable. Al Noreste del río El Bramadero (N1484952 - E0612452) se observa una transición entre las filitas, esquistos y cuarcitas (Ilustración 18).



Ilustración 18. 18a) Esquistos y cuarcita comunidad El Bramadero (N1484450 - E0612330). 18b) Esquistos grafitosos con presencia de cuarzo blanco.

En la comunidad Bramadero Arriba (N1485647 - E0610381), cerca del río El Portillon, se extienden los esquistos encontrado en la comunidad la Brellera, en algunas zonas estas rocas se presentan muy meteorizadas y oxidadas, haciendo que tomen una tonalidad parduzca.

Al Norte en el sector de El Porvenir (N1484766 - E0614795) se encuentra la zona de contacto entre las rocas metamórficas y las rocas volcánicas del grupo Matagalpa Superior. Los esquistos, están en contacto discordantes con una roca que está completamente alterada y oxidada, posiblemente se deba a una aureola de contacto generada por las rocas volcánica y metamórficas (Ilustración 19)

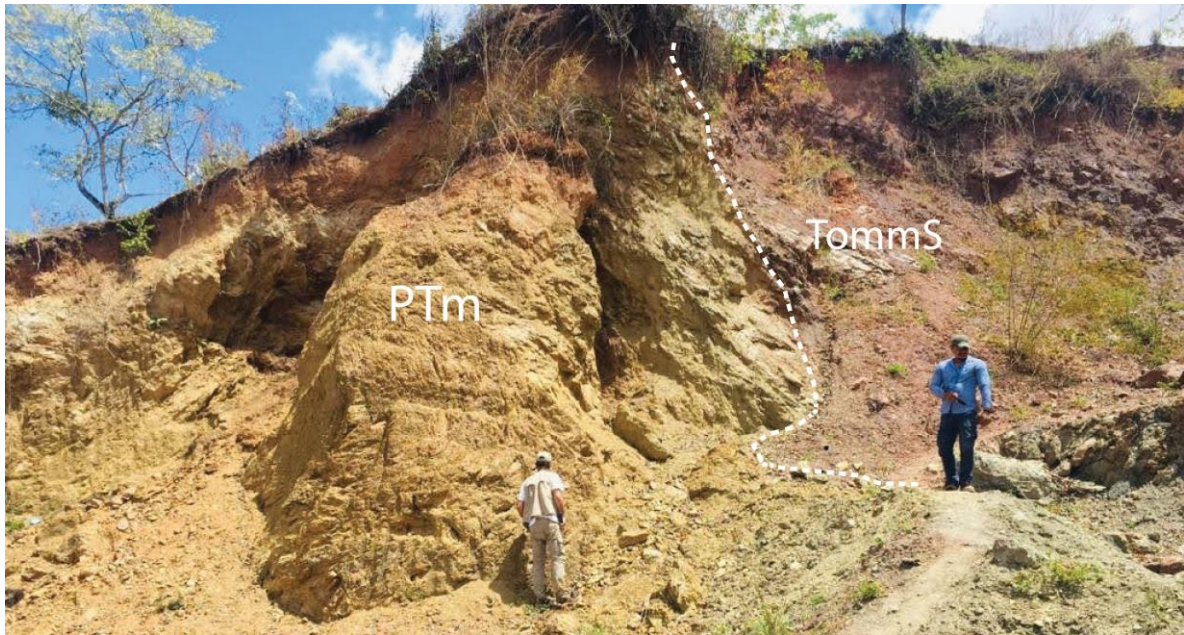


Ilustración 19. Contacto entre las rocas metamórficas PTm y las rocas volcánicas del Terciario Tomms. El Porvenir (N1484766 - E0614795).

Estas rocas se extienden hacia el Noreste, hasta la comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355), donde predominan los esquistos que presentan fracturas rellenas por cuarzo, aquí los afloramientos se observan en los cortes de carretera y se observan múltiples plegamientos y la meteorización hace que el color de la roca sea más amarillenta (Ilustración 20).



Ilustración 20. Esquistos en el sector Norte del área de estudio, comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355).

4.2.1.1. Composición Mineralógica

Macroscópicamente los esquistos de esta unidad presentan una textura foliada bien marcada, es de brillo esquistoso y se rompe con facilidad y en forma de láminas, el color puede variar de gris verdoso hasta marrón en las zonas donde se encuentran más expuestas a la meteorización, en ella se observan pequeños plegamientos, algunos minerales como el cuarzo se encuentran presente en forma de vetillas, los minerales en forma de láminas representan a las micas, biotita y moscovita (Ilustración 21).

En cambio los quistos grafitosos, presenta un color gris oscuro a negro, en algunas zonas donde la roca es más resistente puede tener un color gris más claro y en cambio la cuarcita presenta textura no foliada y es de color marrón.



Ilustración 21. Muestra tomada en la comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355). Representa un esquistos con micro plegamientos y vetillas de cuarzo.

Microscópicamente la roca representa una micaesquistos determinado a partir del diagrama triangular para la clasificación de esquistos, según la abundancia relativa de feldespato potásico, micas y cuarzo.

Esta roca se encuentra intensamente deformada, presenta una textura, granolepidoblastica, la cual está constituida por minerales como el cuarzo y feldespato potásico, formando un agregado en mosaico regular y agregados de micas (biotita, moscovita), en forma tabular o alargada; contiene algunos porfidoblastos de granate y minerales opacos. En la muestra se distingue algunos sectores donde son más ricos en cuarzo y en otros predominan las micas (Ilustración 22).

Se observa una crenulación marcada, que indica que la disposición original de los filosilicatos han sido plegada (Yardley et al, 1996), el granate se distingue por ser isotrópico y algunos casos presenta sombras de presión (Ilustración 23), en este casos los minerales crecieron en forma de fibras, que están orientadas según la dirección del máximo estiramiento del esfuerzo (Castro, A., 2015).

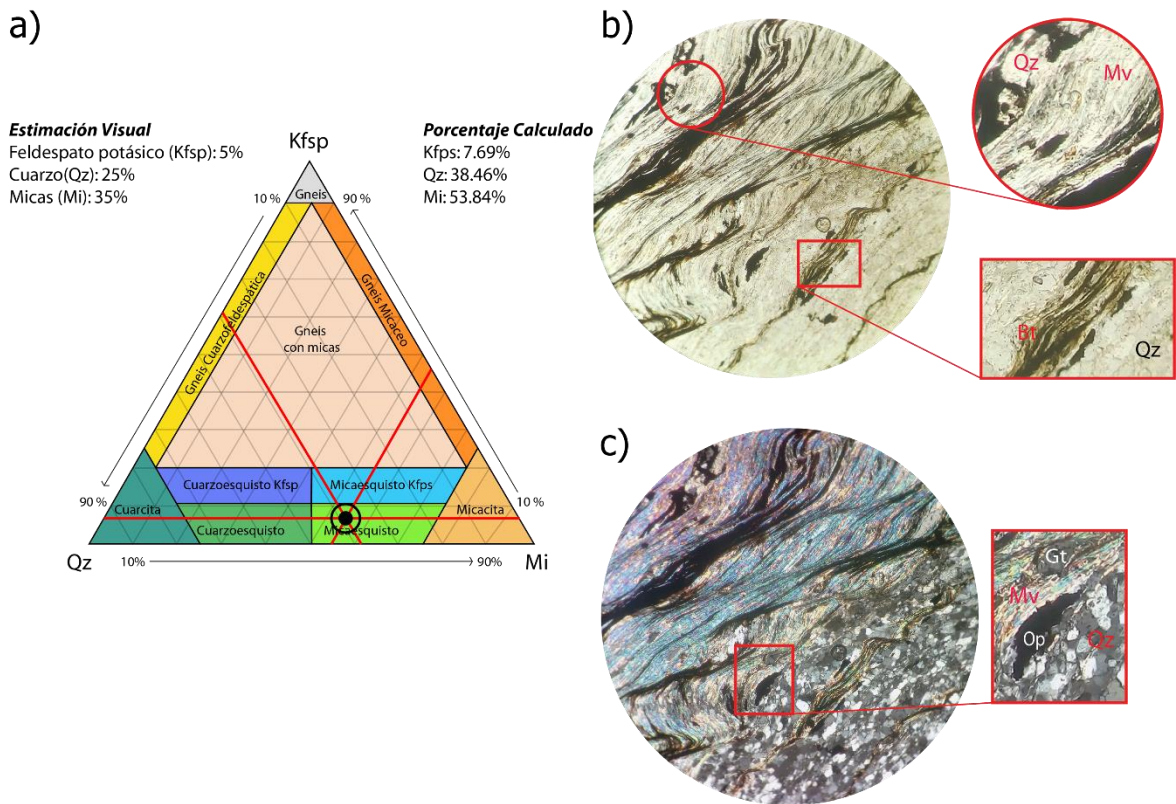


Ilustración 22. 22a) Diagrama triangular Kfps-Qz-Mi, representa una Micaesquistos. 22b) Cuarzo (Qz), biotita (Bt), moscovita (Mv), aumento 10x. 22c) cristales de cuarzo (Qz) en forma de mosaico, porfiroblastos isotrópicos de granate (Gt), minerales opacos (Op), aumento 10x. Comunidad Boca de Vilan (N1482720 – E0620355).

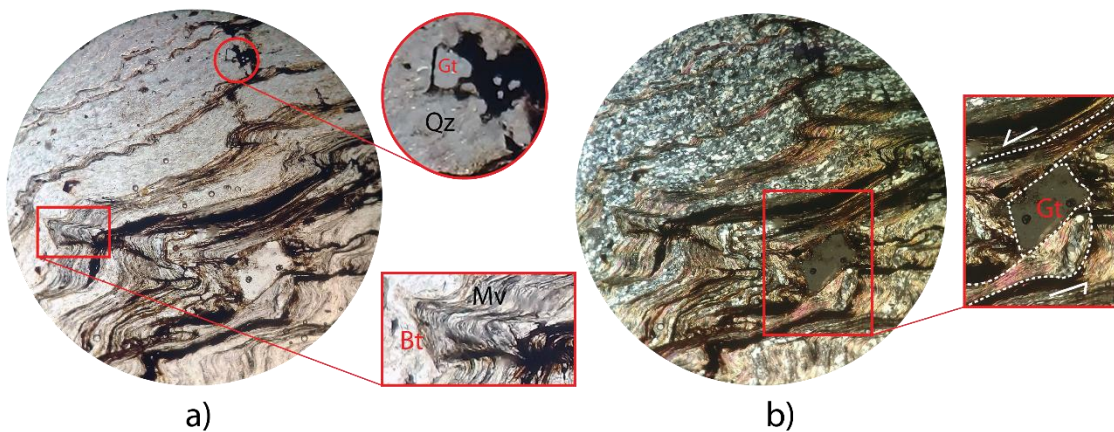


Ilustración 23. Micaesquistos. 23a) cuarzo (Qz), granate (Gt), crenulación en las moscovitas (Mv), biotitas (Bt). 23b) Cristal de granate isotrópico, presenta sombras de presión. Boca de Vilan (N1482720 – E0620355).

4.2.2. Unidad brecha aglomerado –Tomms (b)

Esta unidad está localizada en el sector Norte y central de la zona de estudio, morfológicamente se encuentra representado por cuevas onduladas y escarpadas, con elevaciones de 340 - 600 m.s.n.m.

La unidad aflora en la parte central del área de estudio en algunos tramos del río Pantasma (N1476212 – E0613827), al Norte se encuentra en la comunidad El Chile (N1481501- E0618430), y se extiende hacia a comunidad de Boca de Vilan, donde se encuentra en contacto con las rocas metamórficas de bajo metamorfismo, esta unidad se puede observar en cortes de carreteras, litológicamente está constituida por brechas aglomeraticas, con intercalaciones cenizas rojizas bien estratificadas (Ilustración 24).

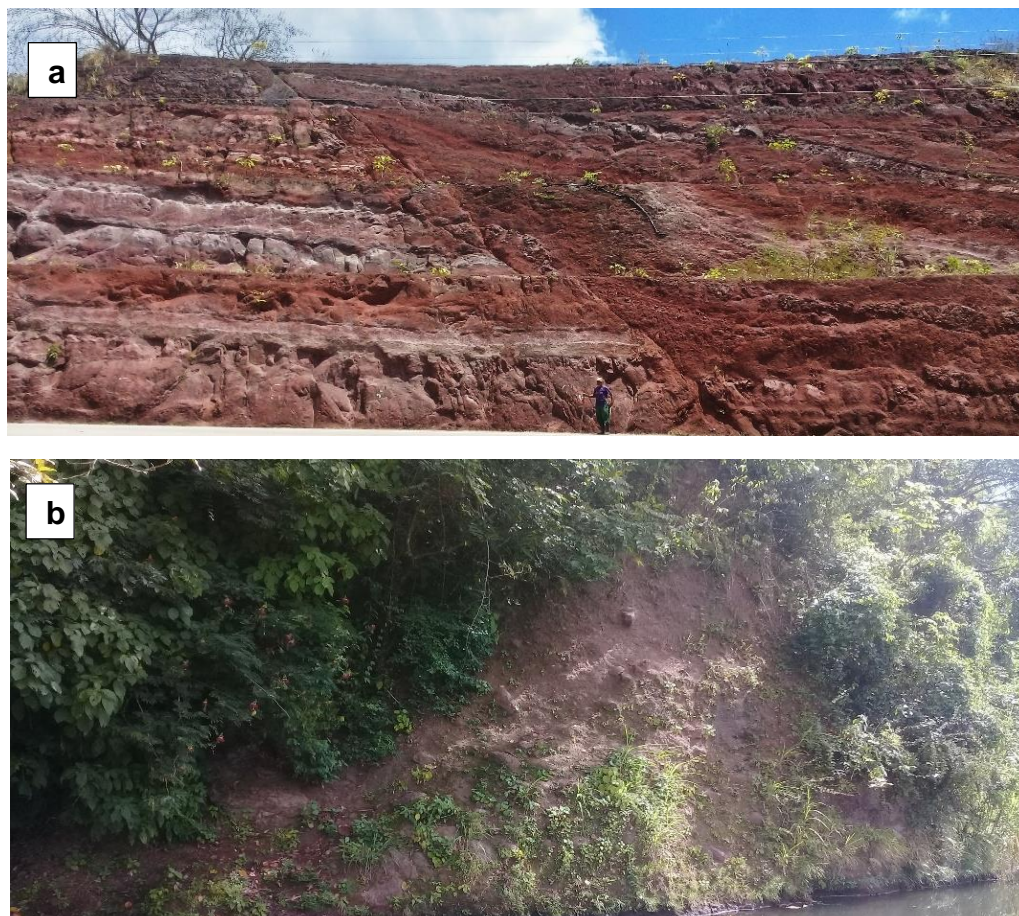


Ilustración 24. Unidad brecha aglomerado. 24a) Comunidad el Chile (N1481464 - E0618416). 24b) Río Pantasma (N1476212 – E0613827)

4.2.2.1. Composición Mineralógica.

La unidad contiene clastos de composición andesítica presentes en los afloramientos de brecha aglomerados, macroscópicamente son sub angulosos con una tonalidad gris oscuro a marrón y con tonos amarillentos en las zonas más intemperadas y oxidada, estas presentan una textura afanítica, con cristales de plagioclasas, cuarzo, biotita (Ilustración 25).



Ilustración 25. Muestra tomada en el río Pantasma (N1476212 – E0613827), representa un clasto de composición andesítica dentro de la brecha aglomeráticas.

Según el diagrama triangular QAPF se clasifica como una andesita que microscópicamente presenta una textura pilotaxítica, con cristales prismáticos de sanidina cuales representa el 10% de la muestra, cristales euhedrales de plagioclasas constituidos por un 40% de andesinas, características en las rocas de composición andesítica (Ilustración 26), también presentan maclado de tipo Carlsbad, que por la alteración sericítica que estas presentan, es un poco difícil de identificar; cristales anhedrales de cuarzo representan el 5% en la muestra, también se observan cristales xenomorfos de calcita (Ilustración 27) y como minerales accesorios augita con un 5% y minerales opacos.

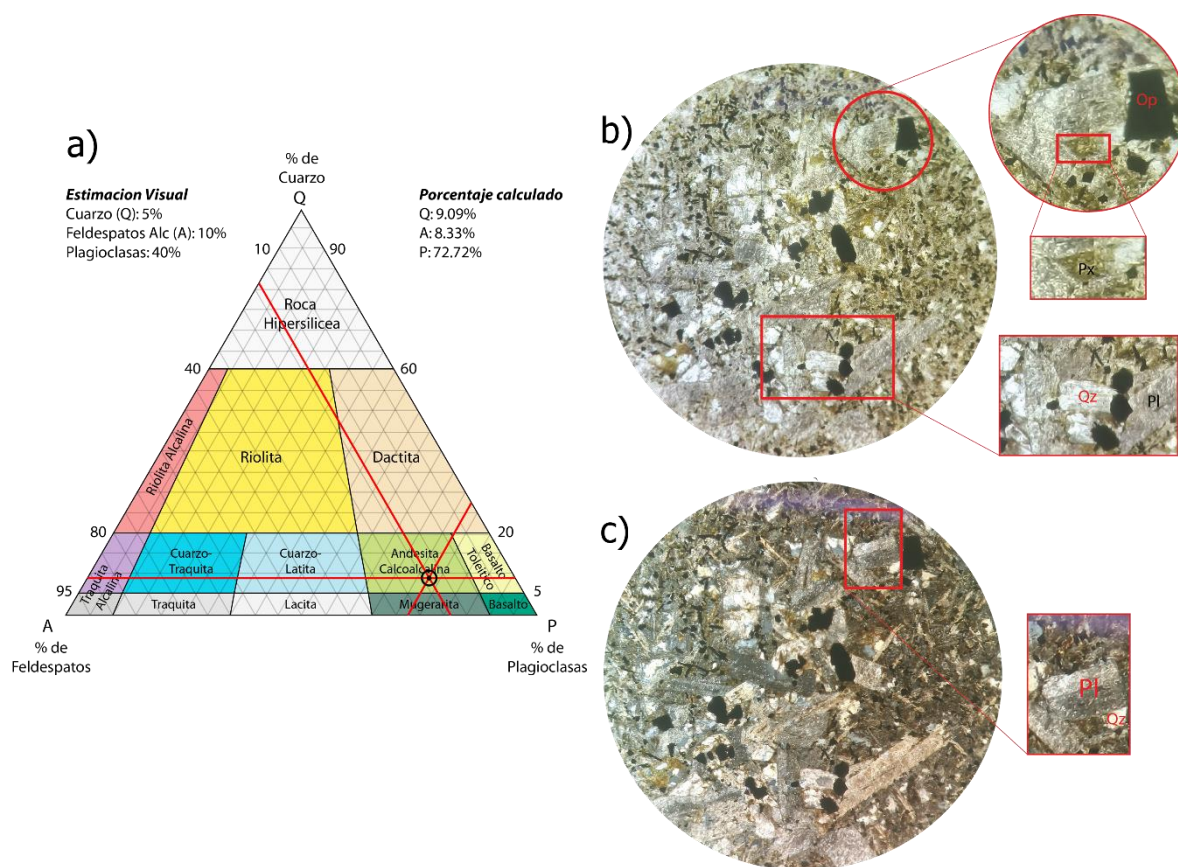


Ilustración 26. 26a) Diagrama QAPF muestra una andesita calcoalcalina. 26b) Textura pilotaxítica, Cuarzo (Qz), Plagioclasas (Pl), Piroxenos (Px), minerales opacos (Op), aumento 5x. 26c) cristales euhedrales de plagioclasas (Pl); se aprecia la alteración sericítica que presentan las plagioclasas., aumento 5x.

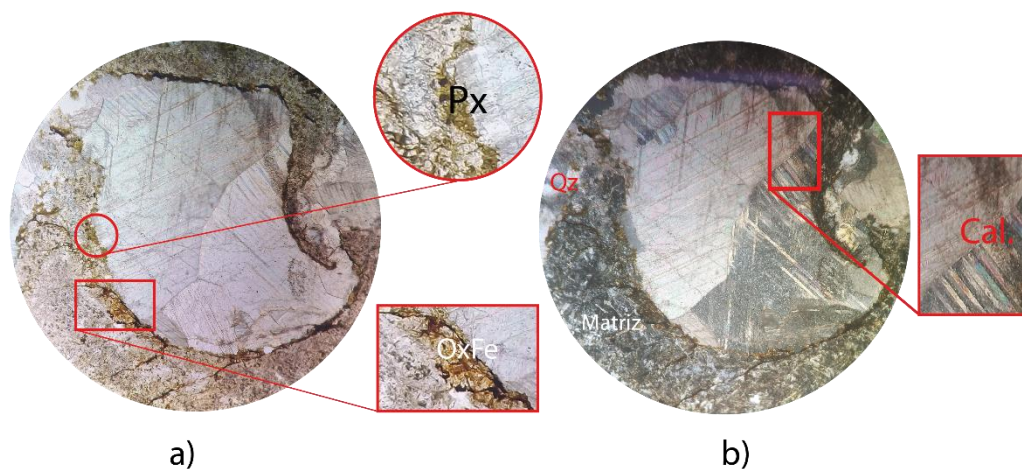


Ilustración 27. 27a) Piroxenos (Px), ligeras oxidaciones (OxFe), aumento 5x. 27b) Matriz microcristalina de plagioclasas (Pl) cristales de calcita (Cal.) con irisaciones, Cuarzo (Qz), aumento 5x.

4.2.3. Unidad andesítica -Tomms (a)

Esta unidad representa las rocas más abundantes de la zona de estudio, la mayor extensión de esta unidad se encuentra en los bordes de la Caldera de Pantasma; desde el sector Noroeste en la comunidad El Corozal hasta el sector Sureste en la comunidad Los Limones, de manera general se encuentra constituida por grandes espesores de rocas andesíticas.

La unidad se presenta de manera regional en toda la zona de estudio y morfológicamente está constituida por grande montañas alargadas que van desde los 400-800 m.s.n.m y se encuentra sobreyaciendo la unidad de Brecha y aglomerados.

En la comunidad El Patastillal se encuentran afloramientos que tienen unos espesores de hasta 10 m, que pueden variar, dependiendo de la topografía del terreno. La roca se presenta meteorizada y muy oxidada en el sector Suroeste en las comunidades El Sacramento y El Níspero (Ilustración 28).



Ilustración 28. Andesitas comunidad El Níspero (N1470845 - E0611750)

En la comunidad El Corozal (N1474231 - E0608688), a orillas del río afloran andesitas con cierto grado de oxidación, estas presenta una tonalidad gris oscura a rojiza; la acción del río ha erosionado gran parte de la roca, dicha oxidación se hace más fuerte en el sector Noroeste, afectando rocas de la comunidad El Tigre y El Portal, probablemente se deba a fluidos hidrotermales que afectaron la zona e hicieron que estas tomara una tonalidad rojiza (Ilustración 29).



Ilustración 29. 29a) Andesitas río El corozal (N1474231 - E0608688). 29b) Oxidación más avanzadas El corozal (N1474974 – 0608393). 29c) El Portal (N1477768 – E0608363).

En las comunidades El Charcón N°2 y La Brellera N°2, la roca se encuentra muy alterada y oxidada, presentando un color rojo ladrillo, con fracturas que son rellenas por carbonato de calcio (Ilustración 30a). La unidad también se localiza en el extremo Sureste de la caldera Pantasma, en la comunidad de Los Limones, la roca aquí se encuentra menos alterada y tiene una tonalidad gris oscura.

Esta misma unidad se localiza en la comunidad de Las Praderas (N1476512 - E0614252), son afloramientos masivos y están presente en algunos tramos del Rio Pantasma donde la acción de este ha dejado al descubierto la roca más resistente y debido a esto la roca se presenta bastante erosionada (Ilustración 30b).



Ilustración 30. 30a) El Charcón N°2 (N1479034 - E0614273) andesitas alteradas con fracturas rellenas con calcita. 30b) Roca andesita in situ, Las Praderas (N1476545 – E0614631).

4.2.3.1. Composición Mineralógica

Macroscópicamente son rocas que tienen textura afanítica, con fenocristales de plagioclasas, biotita, cuarzo, calcita en rellenos de fracturas y en algunos afloramientos se presenta más oxidada, el color de la roca puede variar de gris oscuro a un tono más rojizo cuando la oxidación es más fuerte (Ilustración 31).

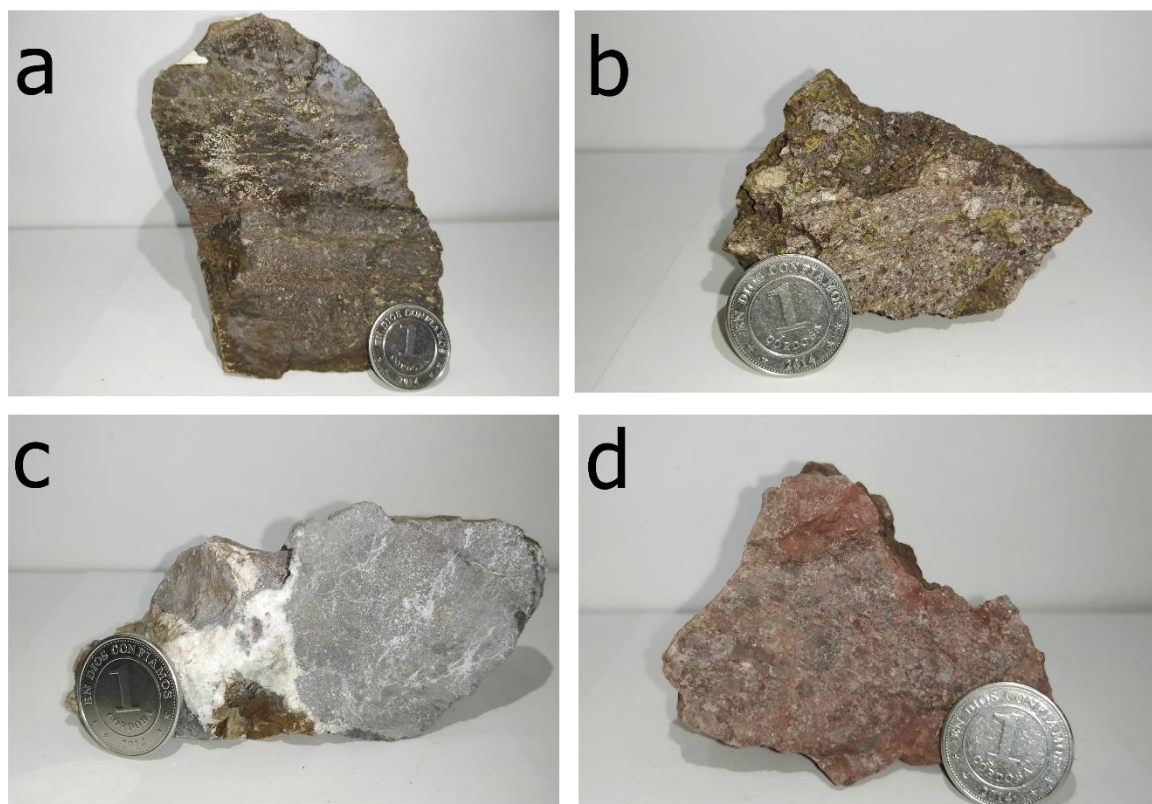


Ilustración 31. Muestras de mano de las andesitas. 31a) El Patastillal (N1473989 - E0608364). 31b) El Corozal (N1473765 - E0608189). 31c) El Charcón N°2 (N1479034 - E0614273) 31d) El Charcón N°2, la roca se encuentra más oxidada.

Se realizó un análisis microscópico a las muestras de rocas en distintos sectores, con el fin de comprobar la distribución de las andesitas y como es el progreso de la alteración en las zonas donde afloran dichas rocas, para ello se realizó una comparación microscópica entre una muestra representativa de la comunidad El Patastillal y El Charcón N°2, donde la alteración en las rocas es más avanzada; por ello se describe a continuación las características mineralógicas de ambos sectores:

Microscópicamente la roca de El Patastillal es una andesita con textura fluidal, en algunas zonas los minerales presenta textura glomeloporfidica; constituida por 5% de fenocristales de sanidina y otros feldespatos potásicos, fenocristales de plagioclasas donde destaca la andesina que representa el 35% de la muestra, el cuarzo se presenta en cristales pequeños y es poco abundante, representando el 5% en la sección (Ilustración 32); como minerales accesorios podemos encontrarnos olivinos 5%, piroxenos y ortopiroxenos 7%, minerales opacos como óxidos de Fe-Ti. (Ilustración 33).

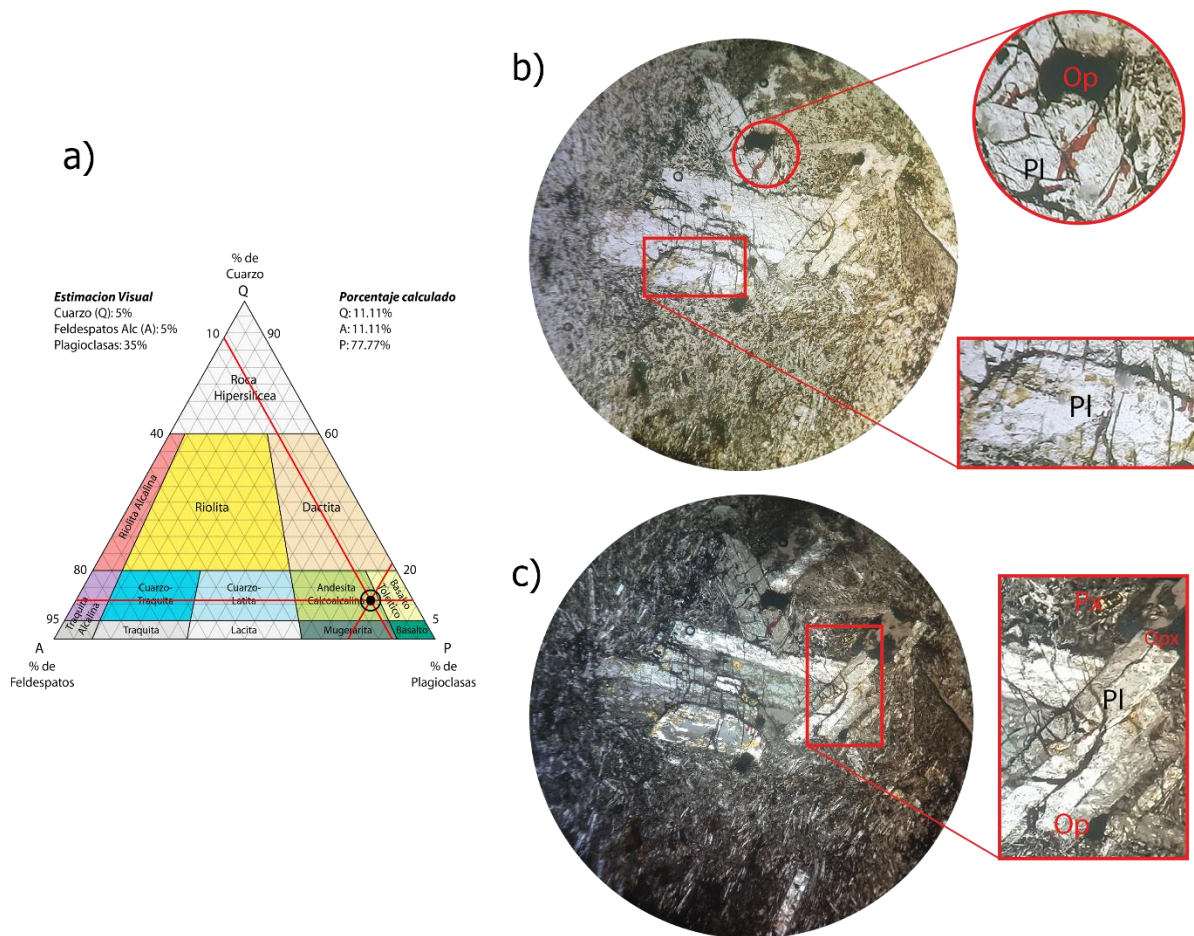


Ilustración 32. 32a) Diagrama QAPF, muestra una roca andesítica) 32b) Textura fluidal y glomeloporfidica, plagioclasas (Pl) aumento 5x. 32c) Plagioclasas (Pl) con una corona de reacción, ortopiroxenos (Opx), piroxenos (Px) y Minerales opacos (Op), aumento 5x.

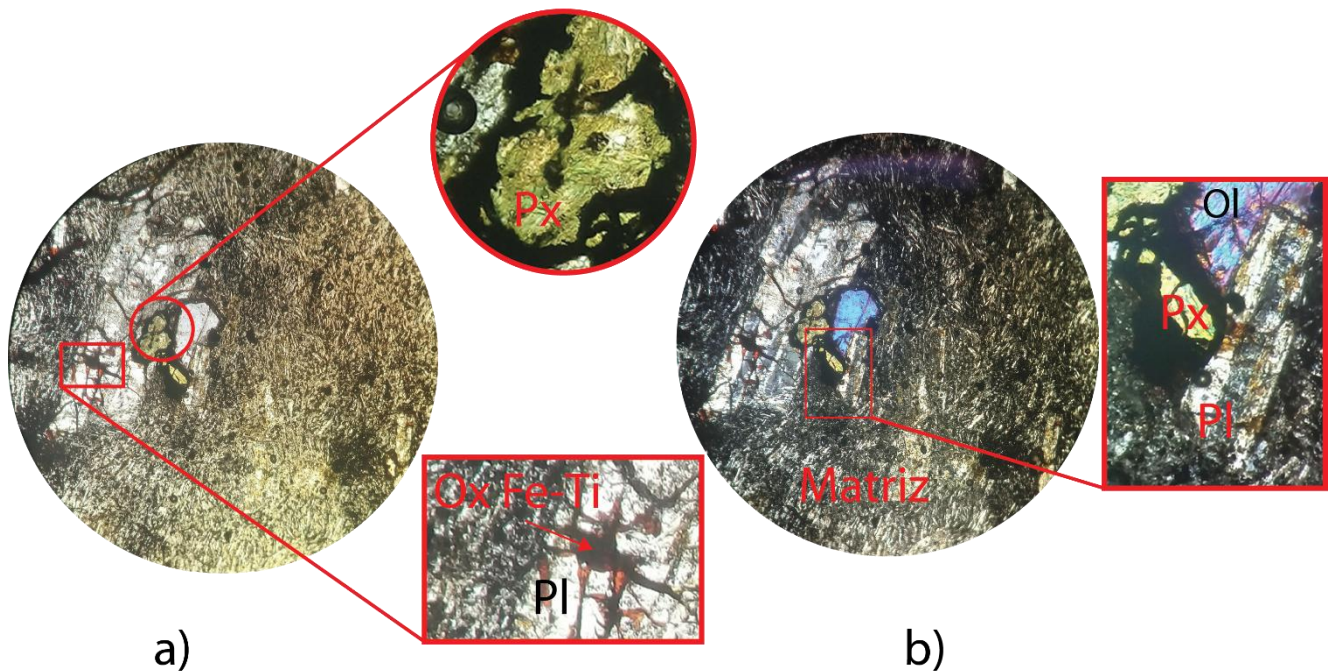


Ilustración 33. Andesita, comunidad El Patastillal (N1473989 - E0608364). 33a) cristales subhedrales de augita (Px), Plagioclasas (Pl) afectada por oxidaciones de Fe-Ti, aumento 5x. 33b) Matriz microcristalina constituida por microlitos de plagioclasas (Pl), cristales de augita (Px), cristales automorfos de olivino (Ol), aumento 5x.

Microscopicamente la roca en El Charcon N°2, presenta una matriz vítrea con microlitos de plagioclasas, en la sección hay sectores donde es difícil diferenciarla debido a la alteración que presenta la roca, esta contiene fenocristales de calcita, en el cual algunos están siendo reemplazados por agregados de cuarzo, ambos minerales presentan corona de reacción en el borde (Ilustración 34).

En algunas zonas de la lámina donde es menos predominante la alteración, se logró identificar que la roca original presentaba una textura pilotaxítica y algunos fenocristales de plagioclasas alterados, presentando un maclado tipo carlsbad (Ilustración 35).

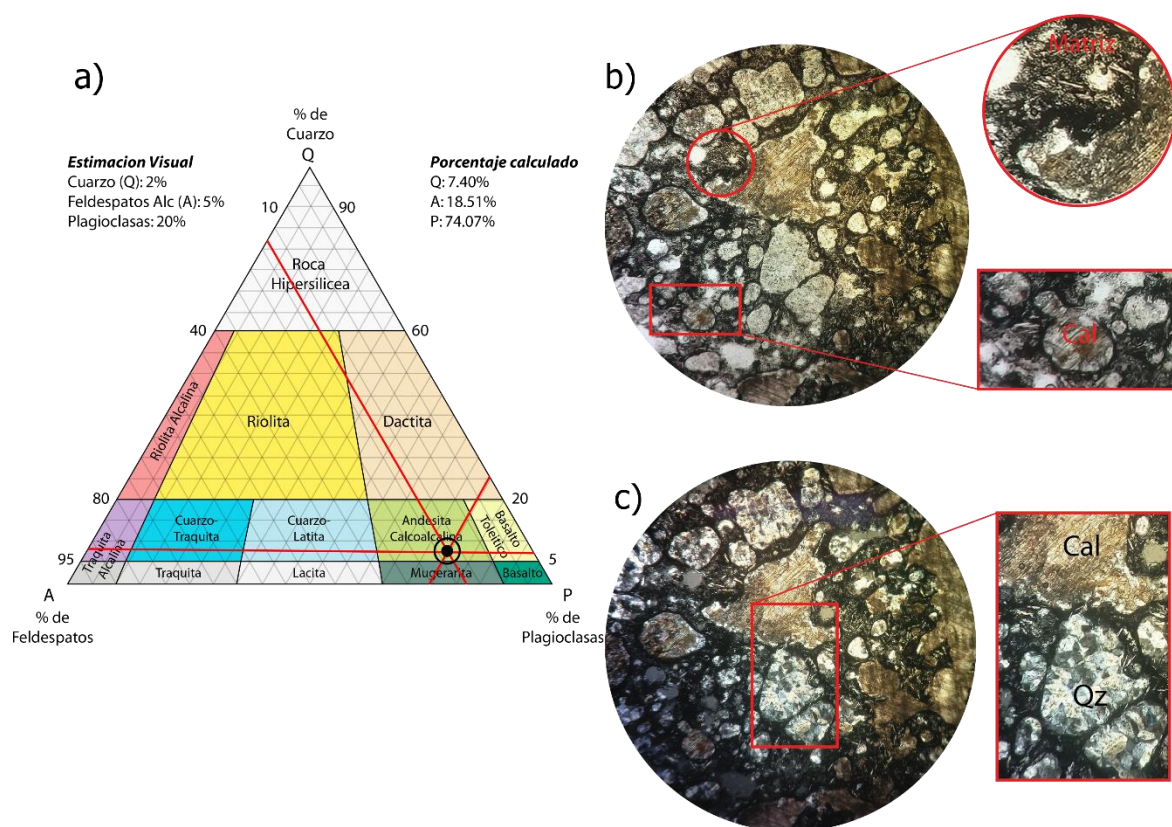


Ilustración 34. 34a) Diagrama QAPF, muestra una roca andesítica 34b) Matriz vítrea, con microlitos de plagioclasas y calcita (Cal), aumento 5x. 34c) Fenocristales de calcita (Cal), agregados de cuarzo (Qz) alterando la roca original, aumento 5x.

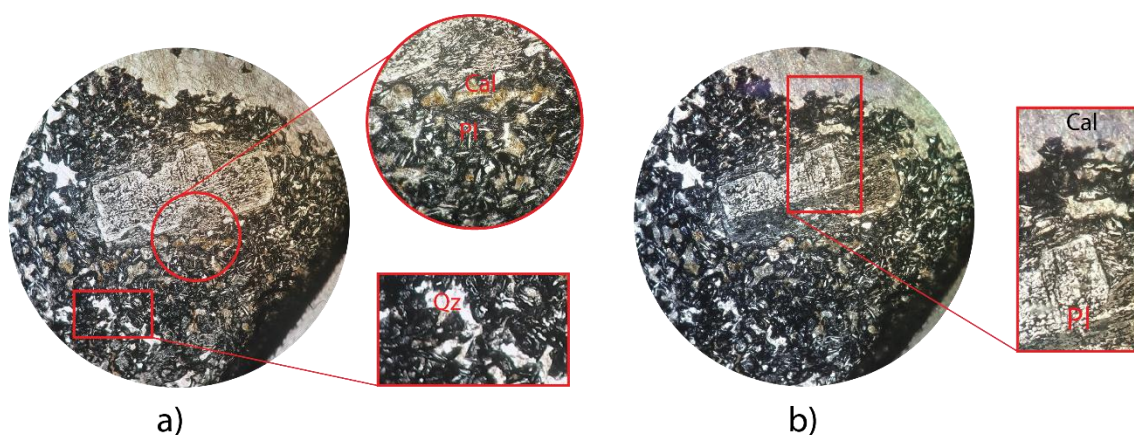


Ilustración 35. Andesita alterada, comunidad El Charcón N°2 (N1479034 -E0614273). 35a) Textura pilotaxítica en una matriz vítrea, calcita (Cal) y cuarzo (Qz), aumento 5x. 35b) Calcita (Cal) y fenocristales de plagioclasas (Pl) alterada, presentando maclado tipo Carlsbad aumento 5x.

4.2.4. Unidad ignimbrítica - Tomms (i)

Esta unidad presenta sus mejores afloramientos en las comunidades El Patastillal, El Pacayal, El Venado, Loma Alta Arriba, según su morfología presenta cerros en forma alargado de media elevación entre 600-1000 m.s.n.m, esta unidad se encuentra representada por ignimbritas de color rosado y están subyaciendo a la unidad riolítica.

En el sector Sureste y Suroeste en la Comunidades El Pacayal (N1481187-E0609724) y El Patastillal (N1473765 - E0608189) aflora esta unidad, presenta una tonalidad rosada, con espesores que pueden alcanzar los 8 metros. Las ignimbritas de El Pacayal presenta fiammes y clastos de distinta morfología y composición, en esta zona la roca se encuentra meteorizada y es más friable (Ilustración 36).



Ilustración 36. Afloramiento de ignimbritas de tonalidad rosadas, comunidad El Pacayal (N1481187 - E0609724)

La unidad se puede encontrar en el sector Noreste en la comunidad El Venado (N1478761 - E0620851), aquí la roca se encuentra más compacta y se extiende hasta la parte Sur en la Comunidad Loma Alta Arriba (N1469556-E0614103), donde la roca ha sido expuesta de manera antrópica y presenta un espesor de ± 8 metros y se encuentra muy alterada (Ilustración 37).



Ilustración 37. Ignimbritas alteradas en la comunidad Loma Alta Arriba (N1469556-E0614103)

4.2.4.1. Composición Mineralógica

Macroscópicamente presenta una textura piroclásticas, con presencia de fiammes y minerales como plagioclasas, cuarzo y clastos de composición volcánica de distintos tamaños y morfología, la tonalidad rosada que muestran estas rocas están asociada a la fuerte presencia de feldespato potásico, en algunas zonas es de color rojizo debido a presencia de alteraciones (Ilustración 38).

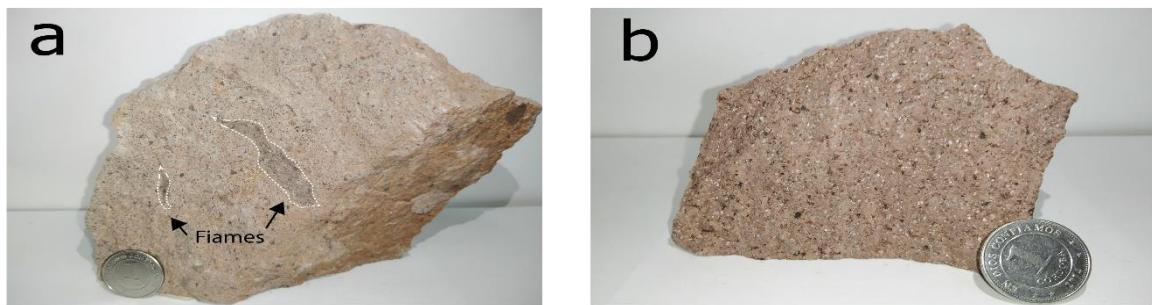


Ilustración 38. 38a) Ignimbritas con fiammes, El Pacayal (N1473765 - E0608189). 38b) Ignimbritas soldadas, comunidad El Patastillal (N1473765 - E0608189).

Microscópicamente la roca representa una ignimbrita con una matriz microcristalina con fiammes y en la sección los minerales que tiene mayor predominio son las plagioclasas, feldespatos potásicos con textura pertiticas característico de las ortoclasas, cuarzo y minerales accesorios como la calcita, biotita y óxidos de hierro afectando algunos minerales (Ilustración 39).

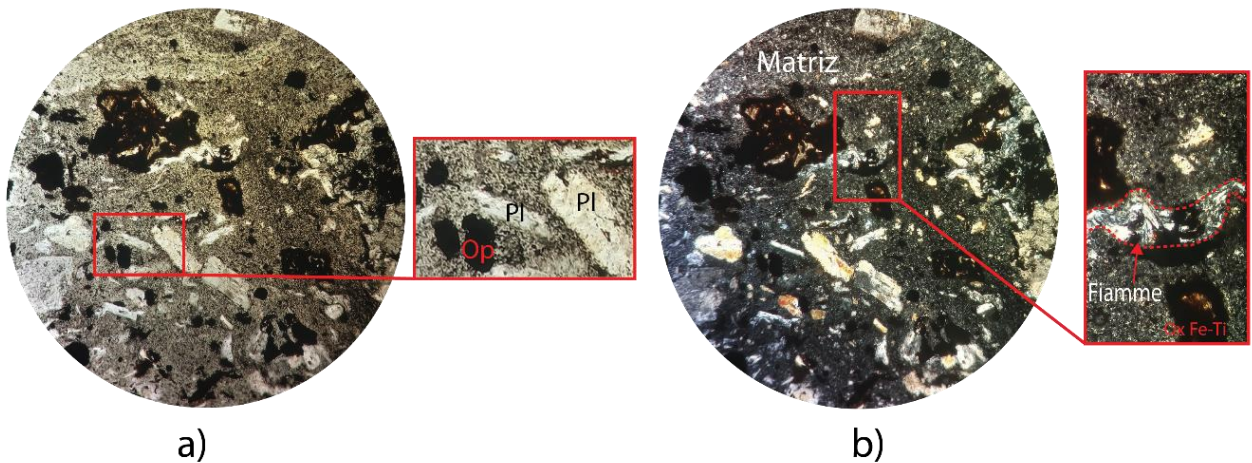


Ilustración 39. 39a) Representa una ignimbrita con presencia de minerales opacos (Op), fenocristales de plagioclasas (Pl), aumento 5x. 39b) Matriz microcristalina, presencia de fiammes y óxidos de Fe-Ti, aumento 5x.

Algunos de los fragmentos vítreos se encuentra alineados y ligeramente aplastados y no están soldados entre sí, como los cristales de cuarzo, los fragmentos aplastados constituyen una textura eutaxítica- vitroclástica (Ilustración 40).

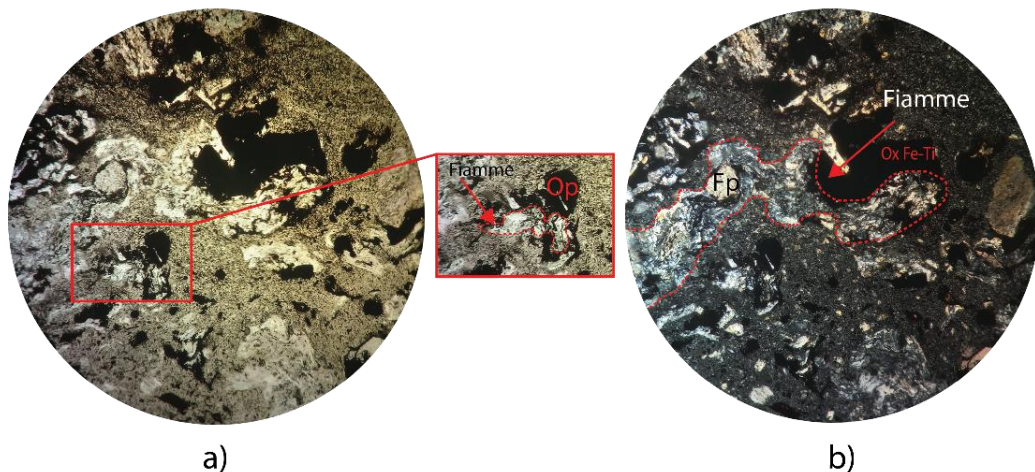


Ilustración 40. 40a) Se aprecian la textura eutaxítica- vitroclástica, pequeños fiammes y minerales opacos (Op), aumento 5x. 40b) Muestra fiammes con inclusiones de feldespato potásico (Fp) y óxido de Fe-Ti, aumento 5x.

4.2.5. Unidad riolítica - Tpci

Esta unidad se encuentra suprayaciendo a la unidad ignimbrítica, estas rocas presentan sus mejores afloramientos en las comunidades El Sacramento, Flor de Pino N°1 y El venado; morfológicamente representa cerros con elevaciones de 900-1100 m.s.n.m. En el sector Suroeste del área de estudio cerca de la comunidad de El Patastillal (N1472593 - E0607945) se encuentra un afloramiento que tiene un espesor de ± 10 metros y presenta una tonalidad blanquecina debido a la presencia de minerales félsico.

En el sector Noreste, en la comunidad Flor de Pino N°1 (N1480102 - E0620365), la unidad tiene un mayor espesor y puede variar entre 30 - 40 m; en algunas zonas la roca posee una tonalidad marrón debido a la fuerte meteorización que se encuentra sometida la roca, dicho afloramiento fue expuesto de manera antrópica, debido a que se usó como banco de materiales para la construcción de caminos. Esta misma unidad se localiza en la comunidad El Venado (N1478308 - E0621784) aquí tiene ± 4 metros de espesor y está muy alterada (Ilustración 41).



Ilustración 41. 41a) Riolitas Flor de Pino N°1. 41b) Riolitas alteradas comunidad El Venado.

4.2.5.1. Composición Mineralógica

La roca presenta una textura afanítica, constituida por minerales como el cuarzo, plagioclasas, feldespatos, anfíboles y biotita, es de tonalidad gris blanquecina, y dependiendo que tan alterada se encuentre la roca puede presentar tonalidades parduzcas (Ilustración 42).

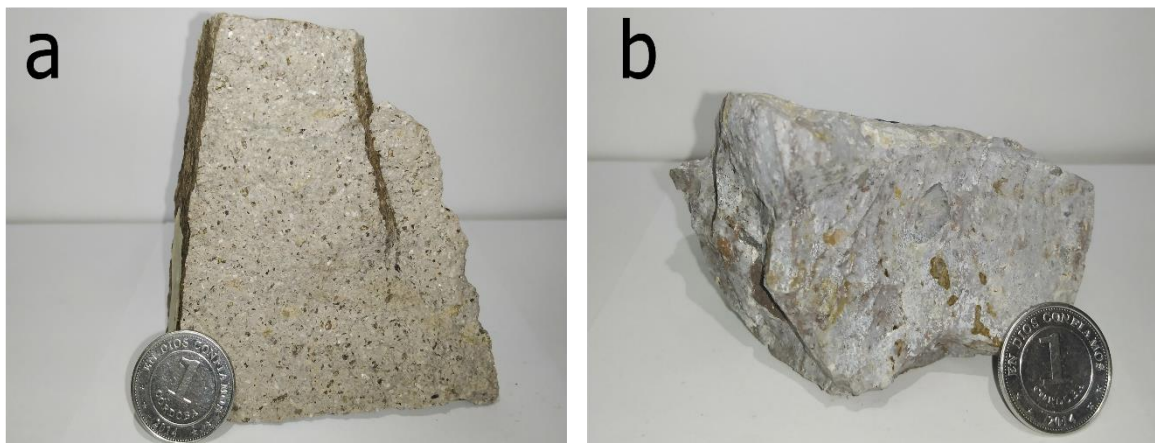


Ilustración 42. 42a) Rioltas comunidad El Sacramento (N1472593 - E0607945). 42b) Rioltas alteradas comunidad El Venado (N1478308 - E0621784).

Según el diagrama QAPF la roca es una riolita, que microscópicamente presenta una matriz vítrea, que contiene un 25% de feldespato potásico como las ortoclasas y sanidinas con maclado tipos Carlsbad, fenocristales de cuarzo con bordes corroídos representa el 30%, las plagioclasas tienen maclas polisintéticas, representando el 20% de la muestra (Ilustración 43).

Los minerales accesorios son los anfíboles (en este caso fenocristales de hornblenda) y minerales opacos (Ilustración 44). En algunos sectores las rioltas se presenta más alterada lo que produce una disminución el número de minerales maficos encontrados en la sección, y ocasiona que la matriz vítrea sea mayor (Ilustración 45).

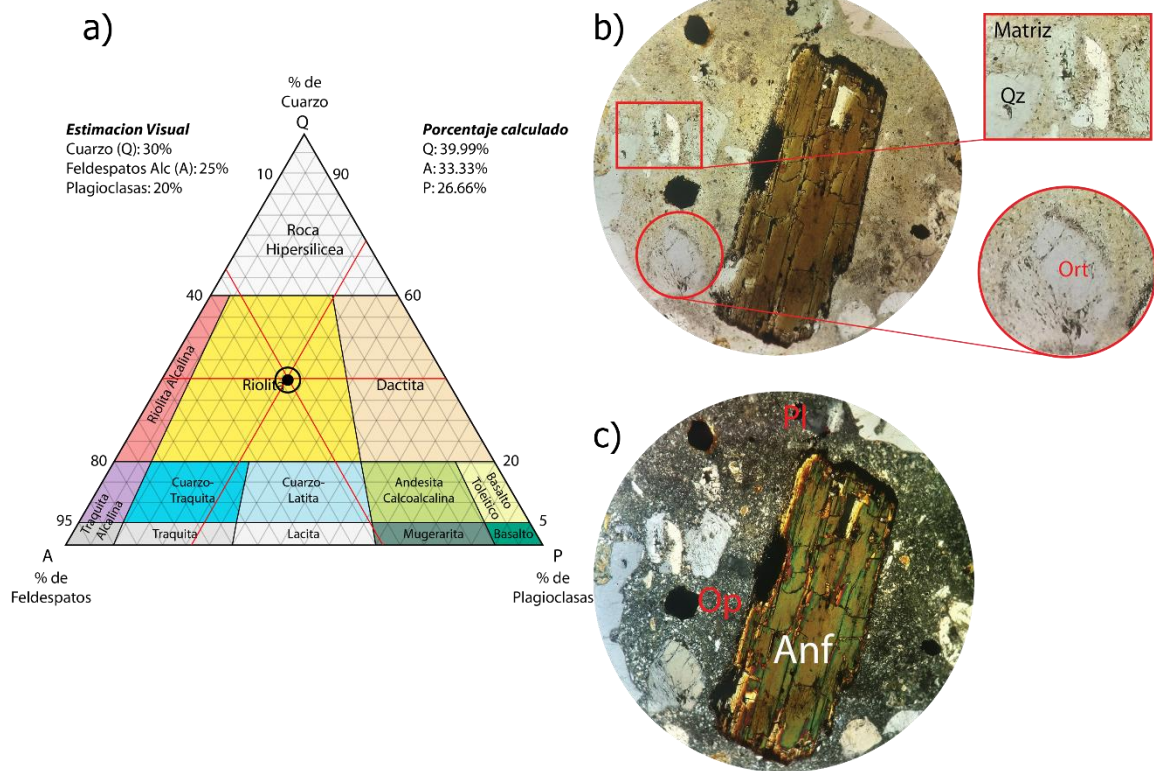


Ilustración 43. 43a) Diagrama QAPF, representa rocas riolíticas. 43b) Matriz vítrea, fenocristales de cuarzo (Qz), feldespatos en este caso la ortoclase (Ort), aumento 5x. 43c) plagioclasas (Pl), fenocristales de anfíboles (Anf) y minerales opacos, aumento 5x.

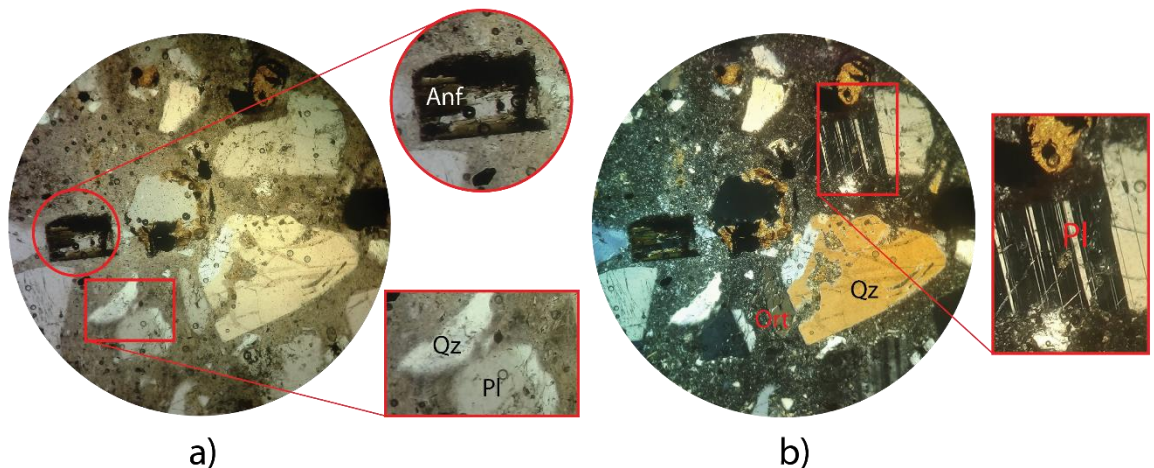


Ilustración 44. Riolita comunidad El Sacramento (N1472593 - E0607945). 44a) Fenocristales de anfíboles (Anf), cuarzo (Qz), plagioclasas, aumento 5x. 44b) Muestra cristales de cuarzo corroídos (Qz), Ortoclase (Ort) y fenocristales de plagioclasas (Pl), con maclas polisintéticas envueltos en una matriz vítrea, aumento 5x.

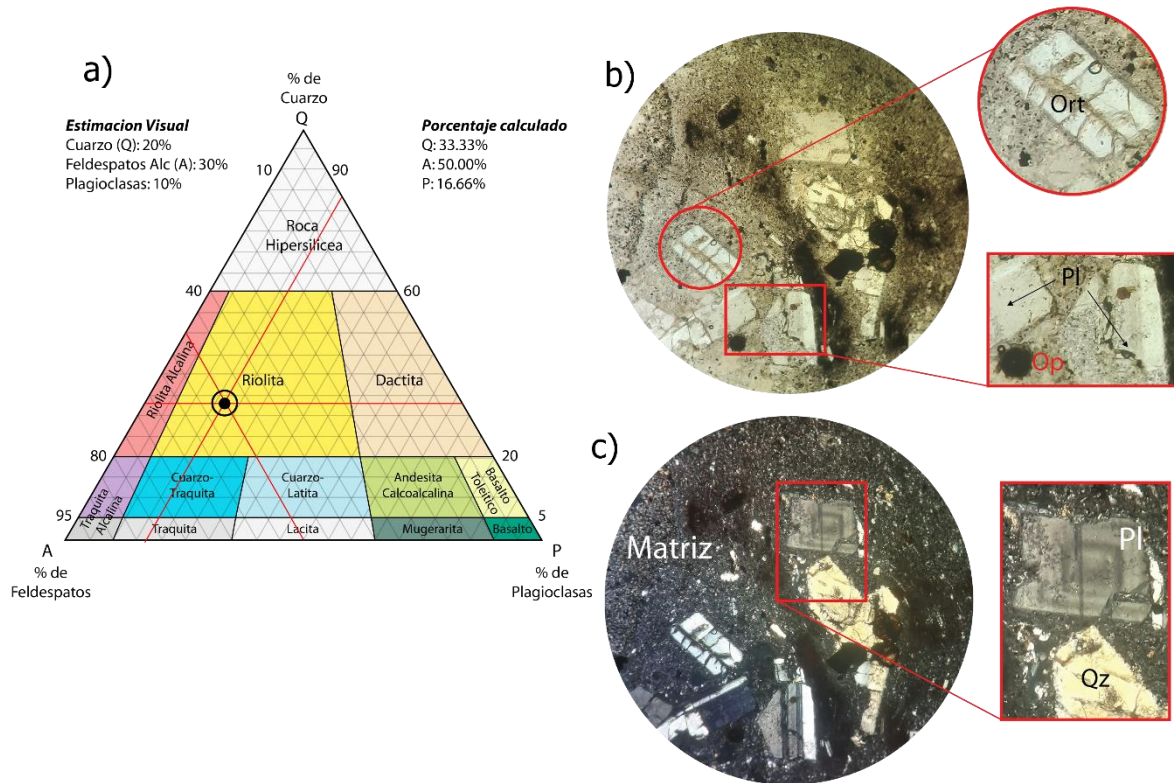


Ilustración 45. 45a) Diagrama QAPF representa riolitas en la comunidad El Venado (N1478308 - E062174). 45b) fenocristales de ortoclasa (Ort), plagioclasas (Pl) y minerales opacos (Op), aumento 5x. 45c) Matriz vítrea con microcristales de plagioclasas y cristales automorfos de plagioclasas (Pl) con zonación concéntrica y cuarzo corroído, aumento 5x.

4.2.6. Unidad Cuaternario aluvional - Qal

Esta unidad se localiza a lo largo del Rio Pantasma y en las quebradas distribuidas en la zona central del área estudiada, principalmente cerca de las comunidades de Penquillas, Las Praderas, El Aserrío, El Malecón, Estancia Cora; esta se expone en forma de depósitos aluvionales, en algunas partes formado por el material que es arrastrado por el rio, el cual transporta sedimentos finos y gruesos.

Morfológicamente son zonas planas que están constituidas por redes de drenaje, principales y tributarios (formados por pequeñas quebradas); asociados a

estos depósitos aluvionales se encuentra gran cantidad de grava, arena, arcilla y grandes bloques, originados por la erosión que ocasiona el río Pantasma.

Los clastos que contiene este tipo de depósitos son de fragmentos andesíticos, basálticos provenientes de zonas más lejanas, que han sido transportados por el río, también se pueden encontrar en forma de material rodado brechas volcánicas (está en algunos casos presenta rellenos de carbonato de calcio) y vidrio volcánico que presentan tamaños que fácilmente pueden superar a los 4 mm (Ilustración 46).

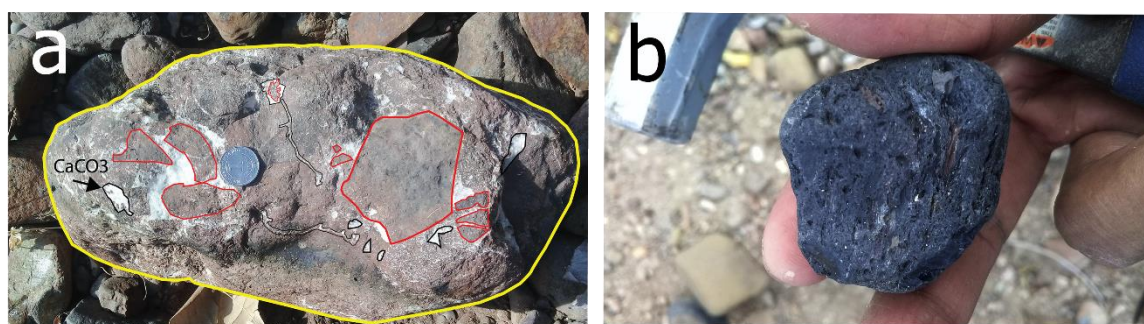


Ilustración 46. 46a) Brecha volcánica, comunidad Las Penquillas (N1474538 - 0612639). 46b) Vidrio volcánico, comunidad La Estancia Cora (N1481654 - E0616693).

En la comunidad Las Penquillas (N1474493 - E0612644), los afloramientos varían de 2 a 7 metros de espesor, cuales están compuesto por distintos materiales que van desde, suelo reciente, suelo limo-arenoso, suelos fósiles, suelo coluvial y suelo residual; todo esto es posible debido a la gran acumulación de material que es generada por el río Pantasma (Ilustración 47), el cual funciona también como límite entre las rocas volcánicas y los depósitos aluvionales; así las rocas volcánicas se extienden hacia el Noroeste y llanura de inundación se extiende más hacia el Noreste del río.

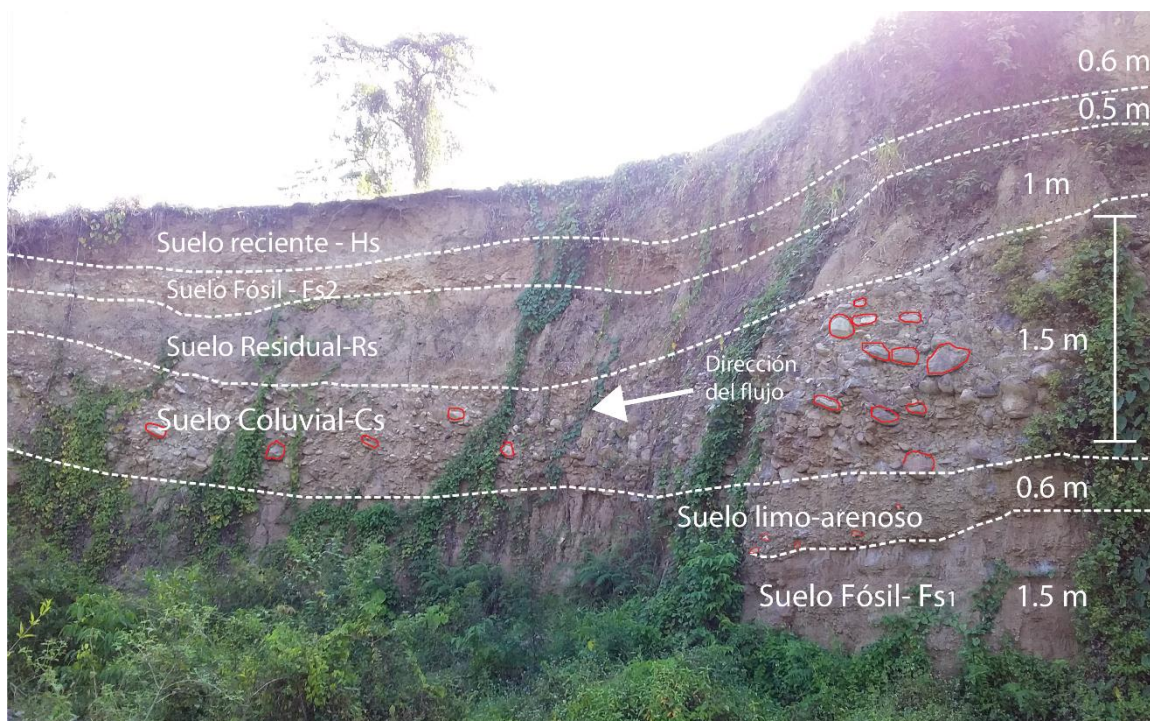


Ilustración 47. Afloramiento de 7 metros en la comunidad Las Penquillas (N1474538 – E0612639), muestra la dirección del flujo y los distintos materiales depositados por el río Pantasma.

En la comunidad de Las Praderas (N1476245 - E0614122), se observan estos depósitos con menor espesor, pueden alcanzar hasta los 2 m, presenta una alternancia de sedimentos arcillosos, limo, arena y se correlacionan con los sedimentos encontrados en la comunidad El Malecón (N1479080 - E0616775).

En la parte Norte de la zona de estudio en la comunidad La Estancia Cora (N1481696 - E0616703), atraviesa el Río Pantasma y se observan depósitos aluvionales con espesores de 1 a 3 metros, que están compuestos por suelo reciente con materiales arcillosos y limosos, así como también suelos coluviales con clastos que superan los 4 mm (Ilustración 48).



Ilustración 48. Suelos recientes y coluviales, comunidad La Estancia Cora (N1481487 – E0616693)

En la zona de los limones N°2, se presenta un deslizamiento con una superficie de ruptura de 6 metros, con un desplazamiento de material de aproximadamente 10 m, este se encuentra dentro de la unidad aluvional. En la zona se puede observar que el deslizamiento se prolonga hacia el Noreste de la comunidad Los Limones 2 (Ilustración 49).

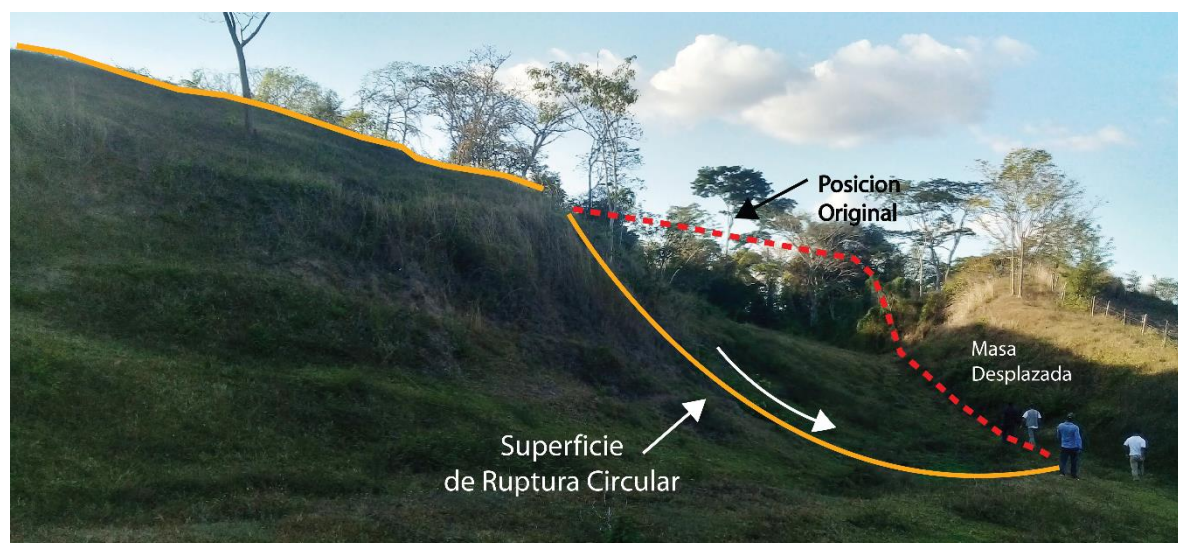


Ilustración 49. Deslizamiento en la comunidad Los Limones N°2 (N1476150 - E0615676)

4.3. Correlación Estratigráfica

Según Engels, (1964, citado en Hodgson, G. 1985) señala que las rocas metamórficas no solamente han sufrido un metamorfismo epizonal, sino también una intensa deformación. Varios autores han estudiado detalladamente las rocas metamórficas, han coincidido en señalar que estas conforman el basamento de las rocas expuestas en Nicaragua y que son equivalentes a las rocas del Paleozoico encontradas en Honduras y Guatemala (Hodgson, G., 1982, p.14).

Garayar, J., (1971), señala que las rocas volcánicas del Terciario conforman una pila potente que descansa en discordancia con las rocas metamórficas del Paleozoico cuales fueron separadas en dos grupo El Coyol y El Matagalpa; este último se encuentra formado por clastos abigarrados, sedimentos volcánicos grises verdosos, lavas andesíticas rojas oscuras y andesitas ignimbriticas rosadas, que indican que las roca son procedentes de una erupción de tipo nube ardiente. (p. 24)

Las columnas litológicas realizadas por Garayar, J., (1971), contienen espesores aproximados de las rocas volcánicas del grupo Coyol y Matagalpa, estas se presentan en las hojas topográficas de San Rafael del Norte, Quilali, La Pavona, Jinotega, Condega, Rio Estelí, El Jícaro, Ocotal, San Fernando.

De estos espesores y según la disposición que presentan las rocas en las columnas elaboradas por Garayar, J., (1971) y Hodgson, G. y Darce, M., (1985), se tomaron las columnas de las áreas adyacentes a la zona de estudio y se realizó una correlación estratigráfica, usando como guía las rocas del grupo Matagalpa (Tomm), esto para corrobora la extensión, distribución y la disposición de estas rocas.

Se localizó que las rocas del grupo Matagalpa también se encuentran distribuidas en el área de San Rafael del Norte, este conjunto de rocas presentan un espesor mayor a los 250 metros, en la zona de La Pavona tienen un espesor que supera los 700 metros, para el área de la Vigía Hodgson, G. y Darce, M. (1985), dividieron al grupo Matagalpa en dos sub grupo que corresponde al grupo Matagalpa Medio, con un espesor de más 440 metros y el Matagalpa Superior con

220 metros de espesor, para la zona de Wiwili el Matagalpa Medio tiene un espesor aproximado de 370 metros y el Matagalpa Superior presenta 350 metros.

De la correlación se obtuvo que el grupo Matagalpa está distribuido en todas las áreas adyacentes a la zona de estudio con un espesor variante, siendo así el grupo de rocas que más predomina y se encuentran en contacto discordante con las rocas metamórficas del Paleozoico, siendo estas el basamento de las áreas tomadas como referencia, excepto San Rafael del Norte que tiene como basamento a las rocas volcánicas del grupo Matagalpa.

Según la litología que se encuentra en las áreas adyacentes y datos recolectados en campo, se pudo establecer una columna litológica para el sector Noroeste de Santa María de Pantasma, en donde afloran rocas metamórficas del Paleozoico las que sirven como basamento, al igual que en las zonas antes tomadas como referencia; se encontró también que en el área afloran rocas volcánicas del Terciario, específicamente rocas del grupo Matagalpa Superior y Coyol Superior, donde este último paquete están distribuidas en las zonas que presentan una mayor elevación topográfica (Ilustración 50).

Eón	Era	Periodo	Epoca	Formación Unidad	Litología	Espesor (m)	Descripción
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Aluvionales recientes		10 - 30	Depositos aluvionales y coluviales recientes con material arcilloso, limoso con clastos mayores a 4 mm
		Terciario	Plioceno	Coyol Ignimbrita riolitas	Qal Tpci	290	Riolitas predominantes
	Paleozoico	Primario	Oligoceno - Mioceno	Matagalpa Superior ignimbrita	Tomms-i	290 ±	Ignimbritas rosadas y soldadas
				Matagalpa Superior andesita	Tomms-a	285 ±	Andesitas -andesitas basálticas
				Matagalpa Superior brecha-Aglo	Tomms-b	140 ±	Brecha aglomeráticas rojas con ceniza intercalada
				Metamórficas	PTm	330 ±	Rocas metamórficas, Micasquistos - Esquistos - Esquistos Gráfico - Filitas - Cuarcitas















Esc Vertical 1:10,000

Ilustración 50. Columna litológica del Sector NW de Santa María de Pantasma. Fuente: Elaboración Propia.

Recinto Universitario Rubén Darío
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Tecnología
Ingeniería Geológica

Tema:
"Cartografía Geológica
a escala 1:50,000, del
Sector NW del Municipio
de Santa María de Pantasma,
Departamento de Jinotega, Nicaragua"

Leyenda

- | | | | |
|---|------------------|---|-----------------------|
|  | Calderas |  | Qal- Aluvional |
|  | Falla Regional |  | Tpci- Riolita |
|  | Falla Comprobada |  | Tomms- i- ignimbritas |
|  | Falla Inferida |  | Tomms- a- andesitas |
|  | Rios Principales |  | Tomms- b- brecha |
|  | Linea de Perfil |  | PTm- metamorfica |



4.4. Geología Estructural

Según Hodgson, G. 1982, la zona está comprendida en la provincia geológica septentrional de América Central. Esta provincia llega hasta el límite Norte de Nicaragua y comprende una estructura e historia geología similar a la del continente Norteamericano, tomando como base la distribución de las rocas volcánicas anteriores al Terciario Superior; con excepción de los esquistos que afloran en el Norte, la zona esta predominantemente cubierta por rocas volcánicas del Terciario Medio Superior.

Dengo, 1988, señala que existen muchas similitudes en las estructuras de la zona, con las del Terciario Superior y Cuaternario, así como también con la geología estructural de América Central y estructuras paralelas a las fallas del graben señalados por McBirney & Williams, 1965. Las fallas de rumbo Noreste coinciden con la serie de fallas denominada Isabelia y las fallas con rumbo Noroeste coinciden con la serie Amerisque y son las que representan mayor densidad y distribución (Hodgson, G. y Darce, M., 1985).

El área de estudio es afectada por una intensa actividad tectónica que se ve reflejada en las diferentes formaciones geológicas que son modificadas y disectadas por los diferente sistemas de fallas y fracturas con características diferentes. Las estructuras más importantes del área están constituidas sin duda por las innumerables fallas y diaclasas, que han sido inferidas de las evidencias topográficas, geomorfológicas, cambios en actitudes y desplazamiento de rocas (apreciables en las fotografías aéreas) y confirmadas en el levantamiento geológico de campo.

De igual manera, se comprobó la existencia de relictos de estructuras circulares o calderas, producto de la subsidencia que antiguas cámaras magmáticas, dichas estructuras representan la caldera del rio Pantasma, las pequeñas calderas obstruidas al Oeste y Suroeste de la zona estudiada, constituyendo evidencias claras del tipo de deyección volcánicas, que originaron la actual configuración geológica de la zona.

4.4.1. Fases de Deformación

En base al análisis de las rosetas de fracturas, mapa de curvas de nivel y mapa de elevación digital del terreno, se logró definir que para el sector Noroeste de Santa María de Pantasma, las fallas son numerosas y están ampliamente distribuidas en la zona, generalmente se observan dos patrones de fallamiento, el de mayor magnitud tienen una orientación predominante NW-SE las otras de menor extensión y distribución en dirección NE-SW.

4.4.1.1. Fase de Deformación NW-SE

Este sistema de fallas y fracturas es el más representativo y presenta mayor densidad en la zona estudiada, se encuentran paralelos al sistema de fallas de la Codillera de Amerrisque, con alineaciones rectilíneas localizadas en toda la zona de estudio pero con mayor distribución en rocas del grupo Matagalpa y las de menor distribución dentro del grupo Coyoil y en rocas metamórficas del Paleozoico.

Las estructuras pueden pertenecer a varios movimientos técnicos producidos en diferentes periodos, debido a las intersecciones de las fallas y fracturas se puede inferir que las fallas NW-SE son las más jóvenes de la zona de estudio.

Entre estas estructuras se encuentran fallas del tipo normal predominantes, aunque en las rocas metamórficas se presentan con menor extensión y son distribuidas de manera irregular, con desplazamientos en ambos lados, creando una serie de bloques fallados, encajados y con una ligera inclinación hacia el SW (Hodgson, G. y Darce, M., 1985).

Dichas fallas que representan esta fase de deformación tectónica han sido denominadas para este estudio como: Falla El Venado, Falla Boca de Vilan, Falla El Níspero, Falla El Corozal.

En la roseta de fractura se han agrupado las fracturas relacionados a las fallas antes mencionadas, dicha roseta expone una dirección que presenta esfuerzos principales máximo hacia el NW-SE y con esfuerzo extensionales, dirigidos hacia el NE-SW (Ilustración 52).

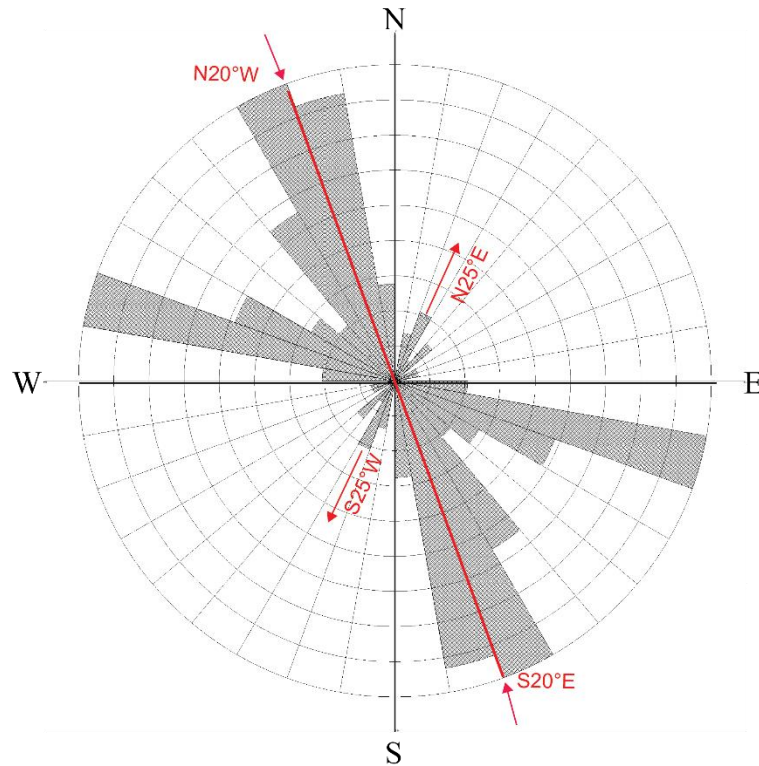


Ilustración 52. Roseta de fractura con dirección NW-SE

Falla El Venado

Esta estructura rumbo N22°W y está localizada al Noreste de la zona de estudio, cerca de la comunidad El Venado, los principales indicadores cinemáticos que se asocian a estas fallas son sistema de fracturas conjugadas producida por una serie de esfuerzos compresivos y extensivos, así como también fracturas secundarias anastomasadas relacionados a sistema de fallas normales, dicha estructura presenta una extensión de 1.2 km (Ilustración 53).

Esta falla inicia en las coordenadas N1478309 – E621092 y culmina en N1479273 - E620550, extendiéndose hacia la comunidad Flor de Pino N°1, dicha falla se encuentra cortando a las ignimbritas pertenecientes a la unidad Tomms-i.



Ilustración 53. Fracturas conjugadas y anastomasadas en el sector de El Venado (N1478761- E0620851).

Falla Boca de Vilan

Esta estructura se encuentra localizada en el sector Noreste en la comunidad Boca de Vilan, presenta un rumbo de N19°W, con una inclinación de 46°, la falla es de tipo normal y esta afectando a las rocas metamórficas del Paleozoico, dichas rocas presentan pliegues, cuales tienen un basculamiento en dirección NE, en esta zona de falla se observan fracturas sub paralelas rumbando hacia en NW. Los pliegues se presentan tumbados e inclinados, cada uno de estos sometidos a grandes esfuerzos compresivos, los cuales son producto de el metamorfismo regional del Norte del país; dichos pliegues se encuentran muy erosionados debido a que han sido expuestos de manera antropica por la construcción de carretera (Ilustración 54).

La estructura principal presenta una extensión de 3.2 km, inicia en las coordenadas N1481218 – E620916, y culmina en N1484191 – E619626, atravesando así Cerro La Pintada, Quebrada de Bilan y Cerro El Cusuco.

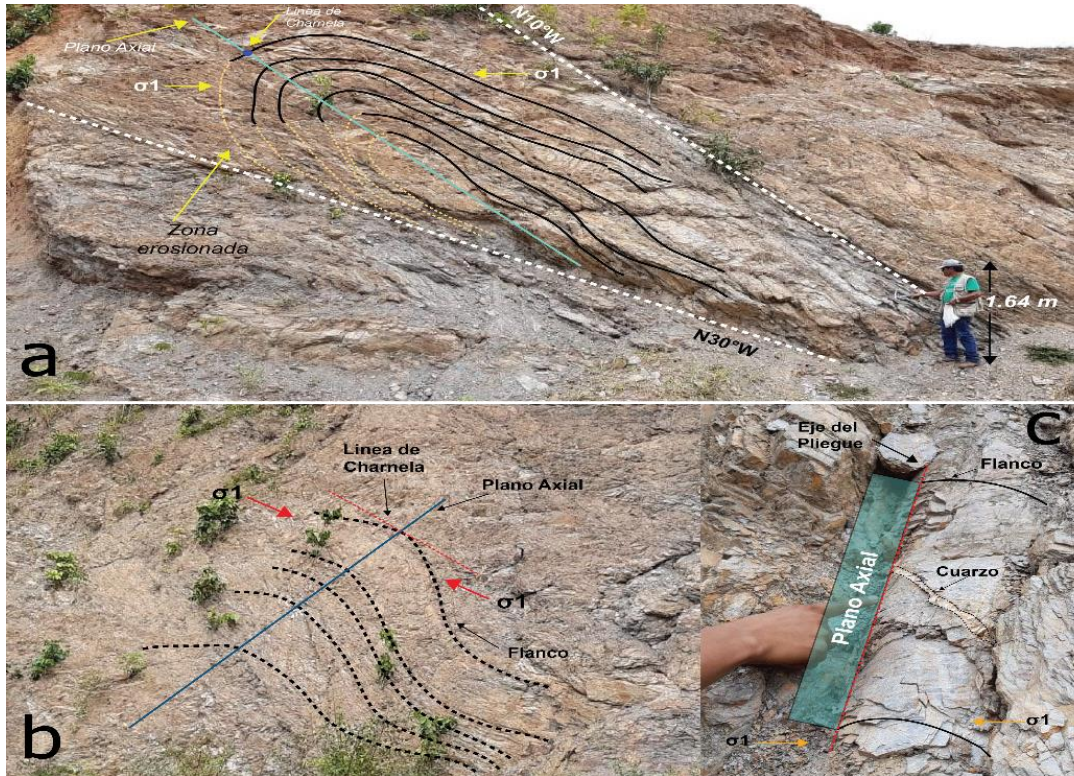


Ilustración 54. Falla Boca de Vilan (N1482720 – E0620355). 54a) Fracturas sub paralelas rumbando al NW. 54b) Anticlinal fuertemente erosionado. 54c) Pliegue tumbados.

Falla El Nispero

La estructura se localiza en la comunidad El Nispero, al Sur del area estudiada, presenta un rumbo de N31°W, con una inclinacion promedio de 72°, la falla es de tipo normal, con un desplazamiento lateral derecho, presentando una extensión de 4.8 km, atravesando el Rio El Quebradon, Loma las Nubes y el Rio Pantasama.

Litológicamente esta falla se encuentra cortando las rocas andesíticas pertenecientes a la unidad Tomms-a; sobre la dirección de la falla se identificaron una serie de fracturas paralelas en posición vertical y con una dirección NW-SE, al igual que se encontraron sistemas de fracturas conjugadas y anastomadas, la estructura inicia en las coordenadas N1467374 – E613612 y finaliza en N1471413 – E610981. Los esfuerzos principales máximos compresionales de las fracturas presenta una orientación de N15°W, los esfuerzos extensionales presentan una orientación principal de N85°E (Ilustración 55).

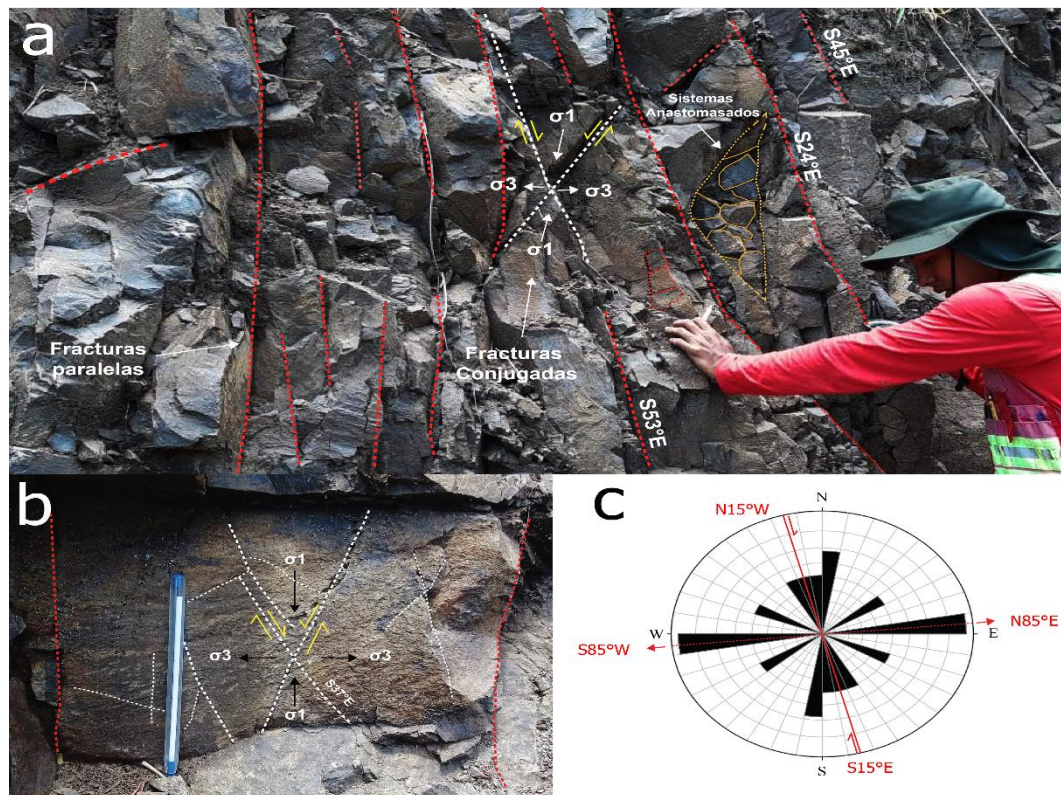


Ilustración 55. 55a) Fracturas paralelas verticales con dirección NW-SE. 55b) Sistema de Fracturas conjugadas. 55c) Roseta de fracturas de El Nispero (N2470845 – E611750).

Falla El Corozal

Esta estructura tiene un rumbo N22°W, es una falla tipo normal, ubicada al Suroeste de la zona de estudio en la comunidad El Corozal, dicha estructura posee una extensión de 1.9 km, se encuentra cortando las rocas andesíticas de la unidad

Tomms-a, dichas roca están siendo afectadas por una fuerte oxidación de la hematita y limonita, que se han producido por la presencia de agua supergena que se ha infiltrado a través de las fracturas generadas por dicha falla.

La falla presenta sistemas de fracturamiento conjugado, así como también sistemas de fracturas paralelas y sub paralelas, estas se proyectan con una dirección preferencial hacia el NW-SE, la estructura inicia en las coordenadas N1474575 – E608609 y termina en N1476284 – E607771 (Ilustración 56).

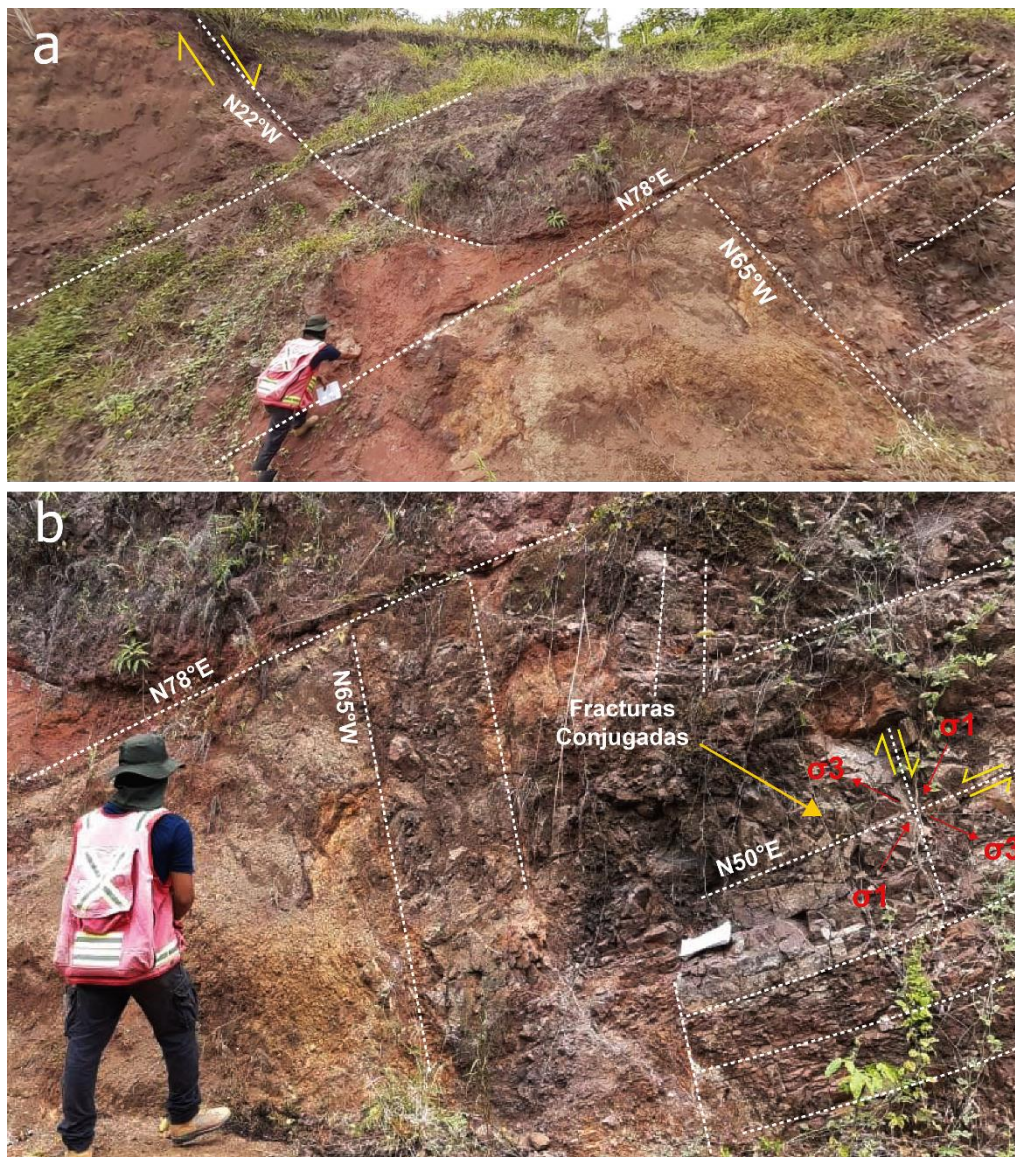


Ilustración 56. 56a) Fracturamientos sub paralelo en roca andesítica. 56b) Sistema de fracturas conjugadas asociadas falla normal en la comunidad El corozal (N1474974 – E608392)

4.4.1.2. Fase de Deformación NE-SW

Es la segunda fase de deformación que afecta el área de estudio, las estructuras de rumbo NE son paralelas con la serie de fallas de la denominada Cordillera Isabelia, coincidiendo así con el patrón regional; las fallas en dirección NE-SW y se presentan generalmente en menor escala y dispersos en la zona estudiada.

Las fracturas en esta fase son numerosas y ocupan una orientación predominante NE-SW en casi toda el área, fracturas con otras direcciones son escasas y se encuentran mayormente en el grupo Matagalpa. Las inclinaciones no son continuas y por consiguiente hace que no predomine una orientación definida de las rocas, generalmente señala buzamientos hacia el sur, aunque su rumbo puede ser hacia el NE en el área de Pantasma.

La edad de las diferentes estructuras pueden pertenecer a distintos movimientos tectónicos de diferentes periodos, debido a las intersecciones que se presentan en las fallas y fracturas se puede inferir que las fallas que tienen una orientación NE-SW son las más antiguas, además las inclinaciones señaladas anteriormente son de carácter local, descartando así la posibilidad del desarrollo de grandes esfuerzos compresionales, si no por el contrario, las rocas se encuentran afectadas por un tectonismo reciente, sometiendo las roca a movimientos verticales que originaron la actual estructura tectónica del área (Hodgson, G. y Darce, M., 1985).

Entre las estructuras de rumbo NE-SW se encuentra fallas de tipo normal predominantes y algunos casos tienen desplazamientos laterales; en las rocas metamórficas se presentan con menor extensión y poco distribuidas, las que se encuentra en menor cantidad son las fallas inversas producidas por fuerzas compresionales.

Las fallas que representan la segunda fase de deformación para este estudio se han denominado con los siguientes nombres: Falla La Brellera, Falla El Bramadero, Falla El Patastillal, Falla Flor de Pino, Falla El Chile.

En la roseta de fractura se han agrupado todas las fracturas pertenecientes a las fallas mencionadas anteriormente, dicha roseta expone una dirección de esfuerzo principal, hacia el NE-SW, y los esfuerzo de extensión, están dirigidos hacia el NW-SE (Ilustración 57).

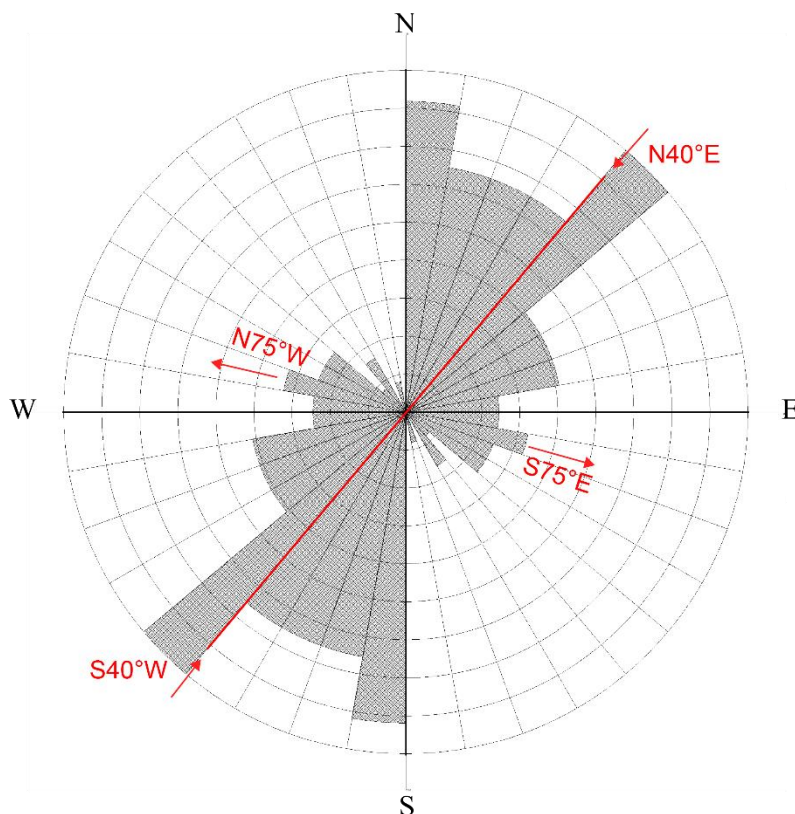


Ilustración 57. Roseta de fractura con dirección NE-SW

Falla la Brellera

La falla se localiza en el sector Norte de la zona estudiada cerca de la comunidad la Brellera, dicha estructura presenta una dirección de N5°E con una extensión de 1.7 km, se encuentra cortando las rocas andesíticas de la unidad Tomms-a, atravesando el río La Brellera y el cerro El Tamalaque.

Esta estructura inicia en las Coordenadas N1482725 – E0613283 y termina N1484405 – E0613255, es de tipo normal, asociado a ella se encuentran sistemas de fracturas paralela de tipo verticales y horizontales, generando así un diaclasamiento entre ellas, con fracturas de ± 2 cm, que se encuentran

rellenas por calcita, en algunas zonas las fracturas son de mayor espesor alcanzando hasta los 10 cm y estas tienen una dirección preferencial hacia el NE-SW (Ilustración 58).

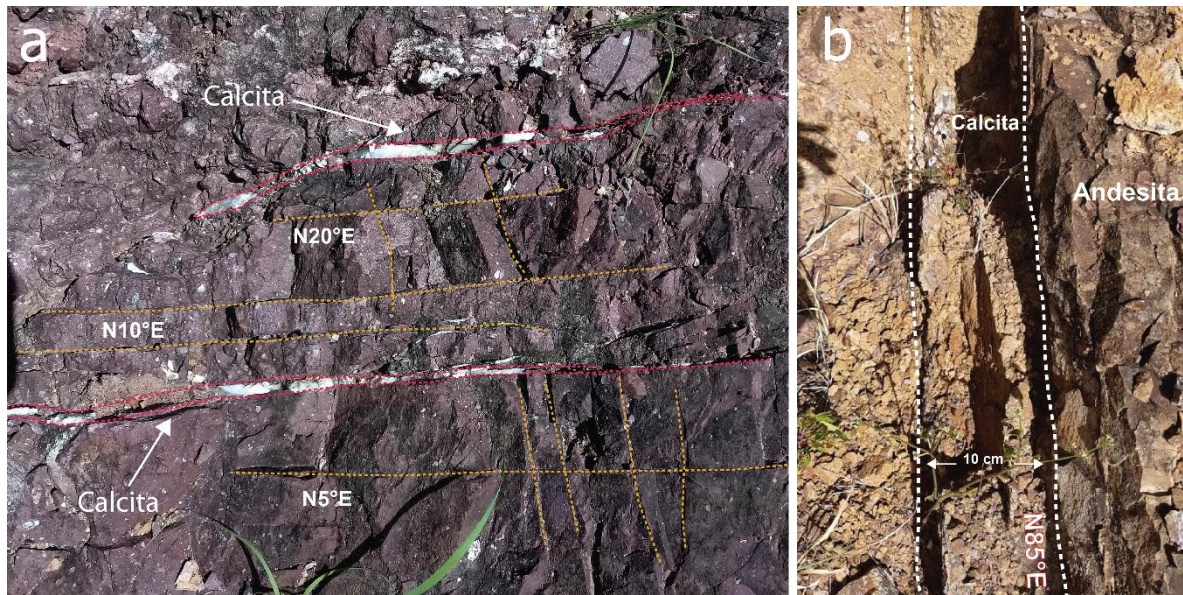


Ilustración 58. 58a) Fracturamiento paralelo vertical y horizontal. 58b) Facturas con relleno de calcita. La Brellera (N1482872 – E0613108)

Falla El Bramadero

Esta estructura tiene un rumbo de N28°E, es una falla de tipo normal con leve desplazamientos lateral tipo sinistral, se ubica en el sector Noroeste cerca de la comunidad El Bramadero, posee una extensión de 2.3 km con 46° de inclinación, se encuentra afectando a las rocas metamórficas de la unidad PTm y atraviesa el río El Bramadero.

La falla inicia en las coordenadas N1483824 – E0611943 y termina N1485915 – E0613001, relacionado a ella se encuentra una serie de fracturas sub paralelas dispuestas en los esquistos y en las filitas, posee un desplazamiento vertical, cual es producido por esfuerzos extensivos característicos en fallas de tipo normal, las fracturas en la zona obedecen a la fase de deformación NE-SW (Ilustración 59).

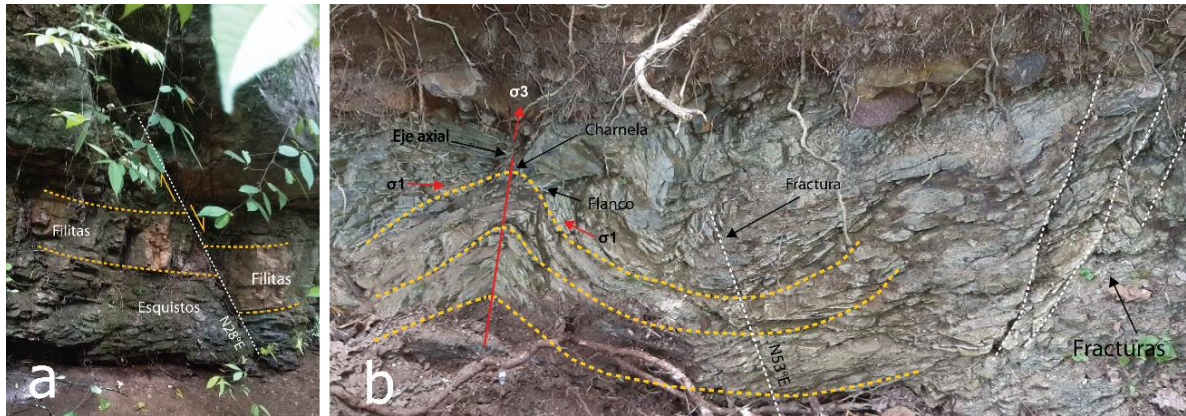


Ilustración 59. 59a) Falla El Bramadero desplazando las filitas. 59b) Pliegues, con fracturas en dirección NE-SW. Comunidad El Bramadero (N1484450 – E0612330)

Falla El Patastillal

Esta falla se localiza al Suroeste cerca de la comunidad El Patastillal, tiene un rumbo de N26°E con una inclinación de 26°, presentando una extensión de 1 km, esta estructura corta a las ignimbritas de la unidad Tomms- i.

La estructura inicia en las coordenadas N1473151 – E607860 y finaliza en N1474170 – E608205; asociados a ella se encuentran como principales indicadores cinemáticos sistemas de fracturas conjugadas y sub paralelas, cuales están relacionadas a fallas de tipo normal; dichos sistemas son indicios del tipo de movimiento que dio lugar a dichas a las fracturas y el esfuerzo máximo que presento la fase de deformación (Ilustración 60).

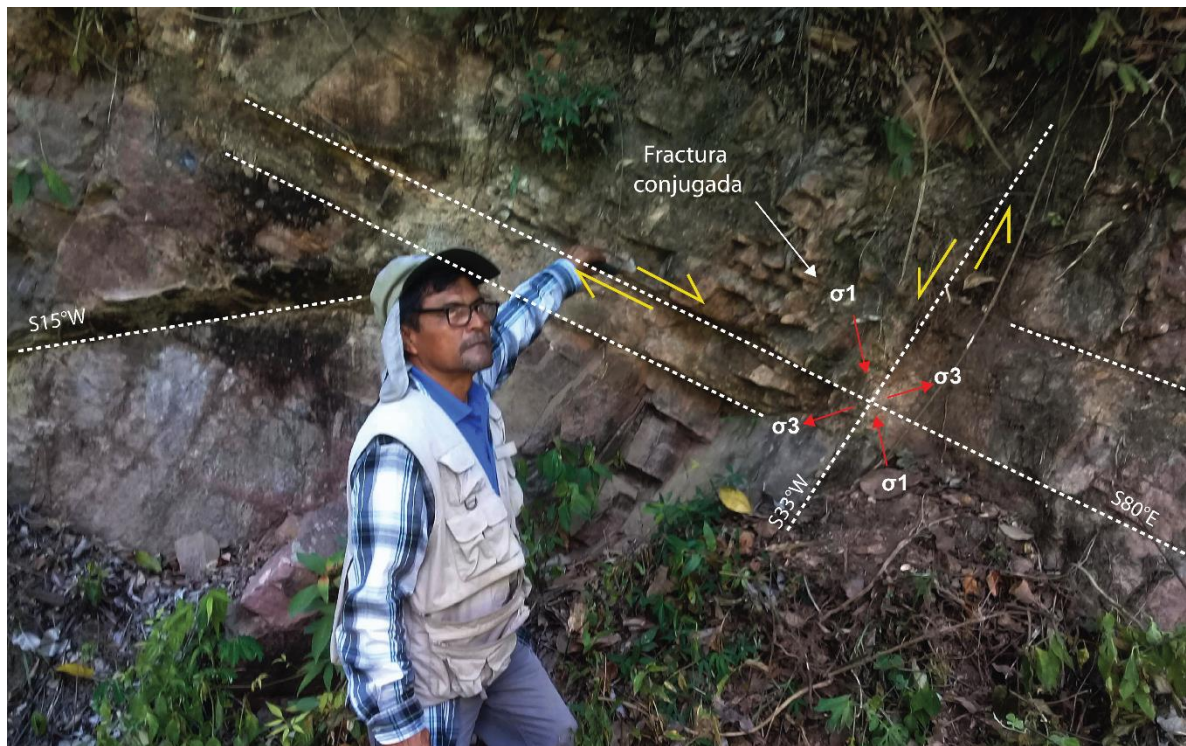


Ilustración 60. Sistema de fracturas conjugadas y sub paralelas. Comunidad El Patastillal (N1473765 – E608189)

Falla Flor de Pino

La falla se ubica al Noreste de la zona estudiada cerca de la comunidad Flor de Pino, se trata de una estructura que tiene una extensión de 1.7 km y presenta un rumbo de N76°E, dicha falla corta a las riolitas, esta presenta un desplazamiento vertical producido por esfuerzos del tipo compresivos, generando así un fallamiento del tipo inverso.

La estructura inicia en las coordenadas N1479679 – E0620251 y finaliza en N1480175 – E0621822; asociados a esta falla se encuentra una serie indicadores cinemáticos como fracturas paralelas, estructuras R, cuales son sintéticas con el movimiento principal formando un ángulo de 15° con la falla principal y las T, que son fracturas netamente tensionales cuya punta señalan hacia el sentido del movimiento del bloque, se presentan a 45° del plano de falla principal (Ilustración 61).

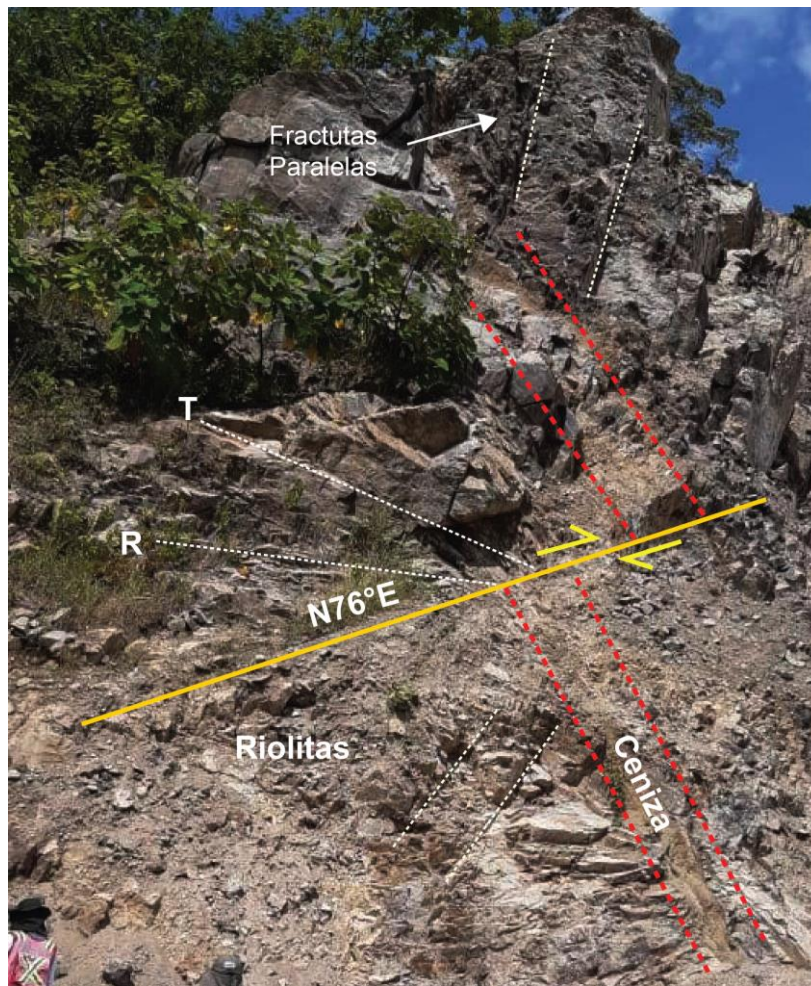


Ilustración 61. Falla Flor de Pino (N1480102 – E620365)

Falla El Chile

Esta falla se ubica al Noreste cerca de la comunidad El Chile, tiene un rumbo de $N40^{\circ}E$ con una inclinación de 73° , presenta una extensión de 2.1 km, cortando a la unidad de brechas aglomeráticas, se trata de una falla de tipo inversa producidas por esfuerzos compresivos, inicia en las coordenadas N1481167 – E0617719 y termina en N1482108 – E0619560.

La presencia de sigmoides ubican la dirección del movimiento relativo de la falla principal, lo que indica que la roca ha sufrido rotación durante el movimiento de

la falla, de manera que el eje principal del sigmoide se encuentra alineado con respecto al movimiento de la misma.

La estructura presenta una segunda fase de fallamiento debido a los esfuerzos compresivo de la falla, cual generó un pliegue de arrastre característico en fallas de tipo inversas, también presenta fracturas P, que se han originado por presión local entre las fracturas de Riedel, estas presentan un ángulo de 15° pero en sentido contrario a las fracturas R, todas las fracturas tiene una dirección preferencial orientadas hacia el NE-SW, obedeciendo estrictamente a la segunda fase de deformación de la zona estudiada (Ilustración 62).

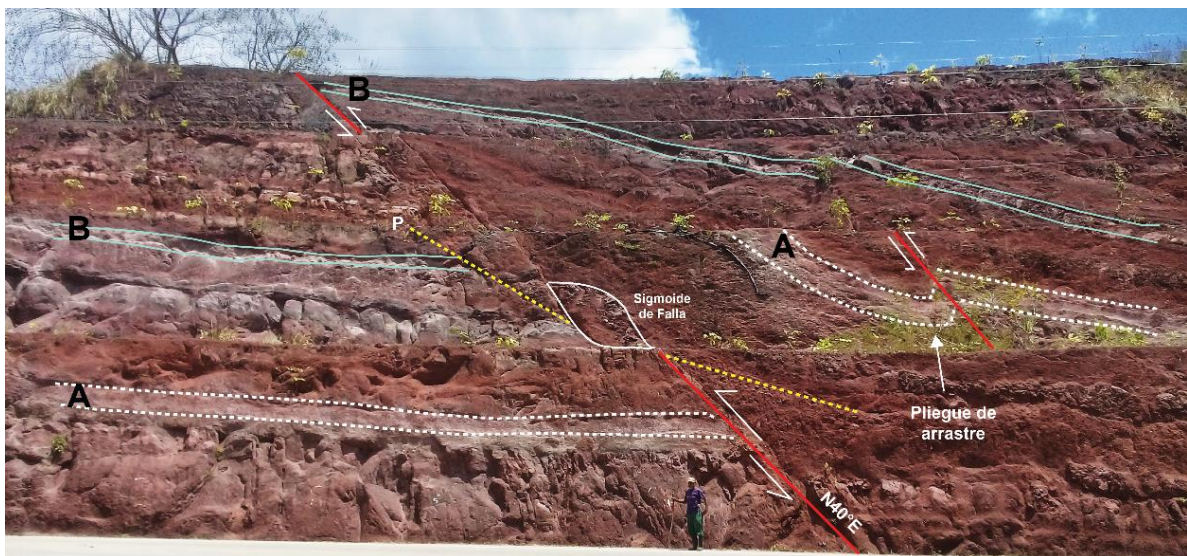


Ilustración 62. Falla inversa El Chile (N1481464 – E0618416)

4.4.2. Estructuras Circulares.

Las grandes depresiones originadas por el colapso de la cámara magmática del volcán son conocidas con el término de caldera. Se ha señalado que muchas se han formado durante una importante erupción con grandes volúmenes de material piroclástico que ha conducido al rápido vaciamiento y colapso del techo de la cámara magmática es por eso que a estas grandes depresiones originadas por estos procesos se les denomina calderas de colapso o de subsidencia (Elorza, 2008).

La subducción de la placa coco por debajo de la placa caribe da origen a la actividad volcánica de Nicaragua y consecuentemente a la formación de estructuras circulares y semicirculares, cubriendo el territorio nacional algunas de las cuales representa volcanes recientes y otras volcanes antiguos, unas son formadas por erupciones violentas y varias de ellas por subsidencia o colapso (Hodgson et al, 1983).

Se logró identificar una estructura circular mediante el uso de fotografías aéreas, imágenes satelitales y un modelo de elevación digital del terreno, a continuación se detallan aspecto morfo- estructurales de dicha estructura.

4.4.2.1. Caldera Pantasma.

Se trata de una estructura circular interpretada como una caldera de subsidencia que se encuentra ubicada en la parte central de Sector Noroeste del municipio de Santa María de Pantasma, abarcando así la mayor parte de la zona de estudio, tiene un diámetro aproximado de 14 km, medido de S-N, por ella atraviesan los ríos Pantasma y Zanizabu.

Su borde Sur se eleva a 1000 metros (Ilustración 63), la reducción de la elevación en su borde Norte se debe a la fuerte meteorización de las rocas y su consecuente erosión, la estructura se encuentra rodeada por lavas andesíticas, riolíticas y aglomerados que están formados por fragmentos subangulares, localizados en su parte Norte (Hodgson, G., 1982).



Ilustración 63. Borde Sur de la Caldera Pantasma

Según Hodgson, 1982, esta caldera ha sido originada en dos etapas: primero hubo una formación volcánica con derrames lávicos acompañados de ligeras explosiones (que originaron los fragmentos volcánicos) y la segunda etapa, consiste en el hundimiento del fondo de un antiguo cráter y sus flancos. Esta caldera ha sido considerada una de las más antiguas de Nicaragua, (a pesar de que ha sido bien conservada). Su borde Norte se encuentra aproximadamente a 1.2 km de las rocas metamórficas del paleozoico.

La caldera Pantasma presenta bordes bien conservados que han sido afectados por las fallas NE, que indica que la caldera es más antigua que las fallas con esa dirección, dicha estructura se encuentra al Sur de la interacción del sistema Matiguas (Hodgson, G. y Darce, M., 1985). La litología que circunda son rocas básicas que fueron incluidas en el grupo Matagalpa superior, por lo que se asume que la caldera tuvo origen durante el Mioceno.

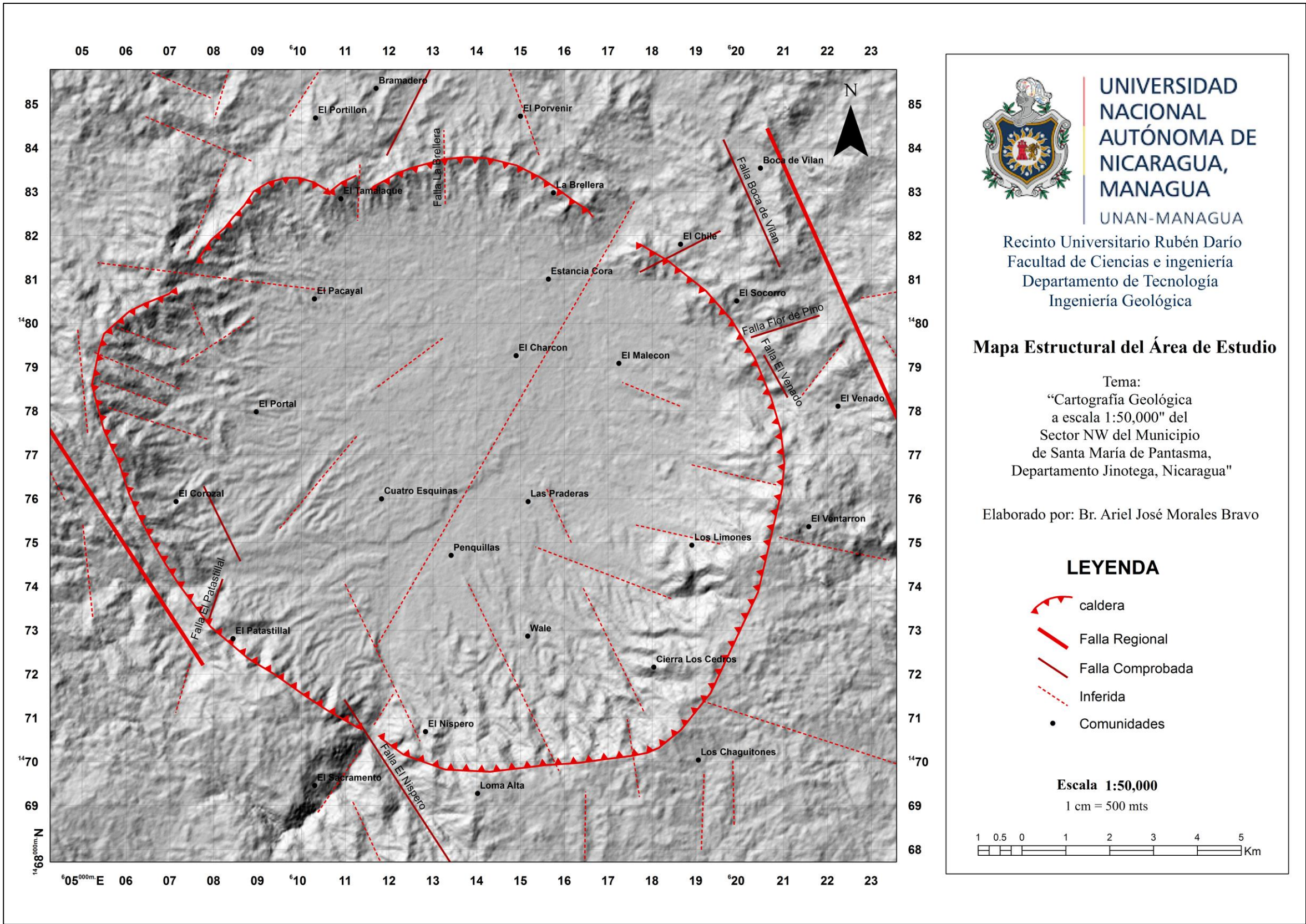


Ilustración 64. Mapa Estructural. Fuente: Extraído de un DEM de la base de datos de la NASA EOSDIS (ASF Data Search Vertex, 2011).

Capítulo V

5.1. Conclusiones

Basado en los resultados de la cartografía geológica del sector Noroeste del municipio de Santa María de Pantasma, Jinotega, se concluye lo siguiente:

La zona de estudio se encuentra representada por seis unidades litológicas, las cuales comprenden rocas metamórficas del Paleozoico, que se han generado por un metamorfismo regional; rocas volcánicas de edad Terciario, originadas por eventos volcánicos sucesivos a partir de varios puntos efusivos, cuya composición varía desde brechas aglomeráticas en su parte basal hasta riolitas en su parte superior, también se encuentran depósitos aluvionales recientes de edad Cuaternaria, producidos por la acción de ríos y quebradas en la zona.

Las unidades de rocas son las siguientes: la más antigua, la Unidad de Rocas Metamórficas constituida por filitas, esquistos, esquistos grafitosos y cuarcitas, tres unidades son perteneciente al grupo Matagalpa Superior, estas son, la unidad brechas aglomeradas, unidad andesita, unidad ignimbrita y la Unidad Riolita se encuentra dentro del grupo Coyoil Superior, por último la Unidad Cuaternario Aluvional, producida por el fuerte arrastre de material que genera el río Pantasma.

Se comprobó la existencia del contacto entre las rocas metamórficas del Paleozoico y rocas volcánicas del grupo Matagalpa Superior; según la correlación estratigráfica realizada, es posible que estas rocas metamórficas sean pertenecientes a la Provincia Geológica del Norte, en donde su afloramiento más cercano se localiza a 1.2 km de la caldera Pantasma, cerca de la comunidad El Porvenir.

Mediante el análisis e interpretación de fotografías aérea e imágenes satelitales se clasificó el relieve local en cinco unidades geomorfológicas: Unidad de llanuras aluviales, unidad de lomas erosionadas, unidad de colinas y cerros escarpados, unidad de relieves abruptos y montañosos, unidad de cráteres y calderas; a raíz de esta clasificación se elaboró el mapa geomorfológico cual sirvió

para definir y caracterizar las unidades litológica y su relación con las estructuras que las originaron.

Por medio del análisis estructural y la elaboración de rosetas de fracturas se obtuvo la información necesaria en cuanto a las direcciones preferenciales de los esfuerzos máximos (σ_1) y mínimos (σ_3) y de qué forma dichos esfuerzos han sido participes en el origen del fallamiento en el Sector Noroeste de Santa María de Pantasma.

Se determinó que en la zona se presentan dos fases de deformación, la primera es la fase NW-SE, que está representada por sistema de fallas y fracturas, consideras las más jóvenes y que tienen una mayor distribución, la segunda fase son estructuras con dirección NE-SW, paralelas a la Cordillera Isabelia y se encuentran generalmente a menor escala y dispersas, debido a las intersección que presentan las fallas y fracturas esta fase es considera como la más antigua de la zona. De igual manera se identificó una estructuras circular producto de la subsidencia de una antigua cámara magmática, dicha estructura, es la caldera Pantasma con aproximadamente 14 km de diámetro.

5.2. Recomendaciones

- Realizar un levantamiento geológico a detalle para establecer de manera absoluta los contactos litológicos entre las formaciones del grupo Matagalpa Superior y Coyoil superior.
- Elaborar una zonificación de las rocas metamórficas del área, para determinar y delimitar más a detalle la secuencia de filitas, esquistos, esquistos grafitosos y cuarcitas, que fueron mencionados en este estudio de manera general debido a la escala seleccionada.
- Así mismo, se recomienda realizar dataciones radiométricas de las rocas metamórficas y las rocas más representativas de las formaciones que constituyen la geología local, todo esto para contribuir a la reconstrucción de la evolución geológica y tectónica del área y sus alrededores.
- Desarrollar estudios petrográficos y geoquímicas detallados, que logren determinar el origen de las rocas que conforman el área, teniendo en cuenta los diferentes ambientes geológicos de la zona.
- Las rocas extrusivas del grupo Matagalpa superior, como las pertenecientes a la Unidad Andesítica, Unidad Ignimbrita, Unidad Brecha aglomerados, son aptas para su uso como material agregado en la construcción, por ello se recomienda realizar estudios de cálculos de volumen y reservas de estos bancos de materiales, para futuras obras civiles en beneficio de la población.
- Ejecutar estudios geotécnicos con el fin de determinar la capacidad de infiltración del agua, debilidad y el grado de meteorización de la roca y los suelos que se encuentran en los taludes de los cortes de carretera, para estabilizarlos y que no sucedan desprendimientos de rocas, deslaves y deslizamientos, así también para cuando se deseen ejecutar proyectos de construcción de nuevas carreteras indicar los puntos vulnerables y enfatizar en una infraestructura y así minimizar gastos de reparación de carreteras.

- Realizar estudios analíticos de patrones estructurales de toda el área con la finalidad de cuantificar y clasificar con mayor detalle patrones locales de fracturamiento y fallamiento, que aporten a la comprensión de la dinámica regente en el área, para elaborar un modelo estructural completo.
- Elaborar estudios vulcanológicos detallados, no solo para las estructuras volcánicas del área, sino de manera regional, con la finalidad de poder ejecutar un estudio de la evolución de las calderas del área.
- Realizar prospección magnética terrestre y aérea para definir con más detalle las estructuras volcánicas antiguas.

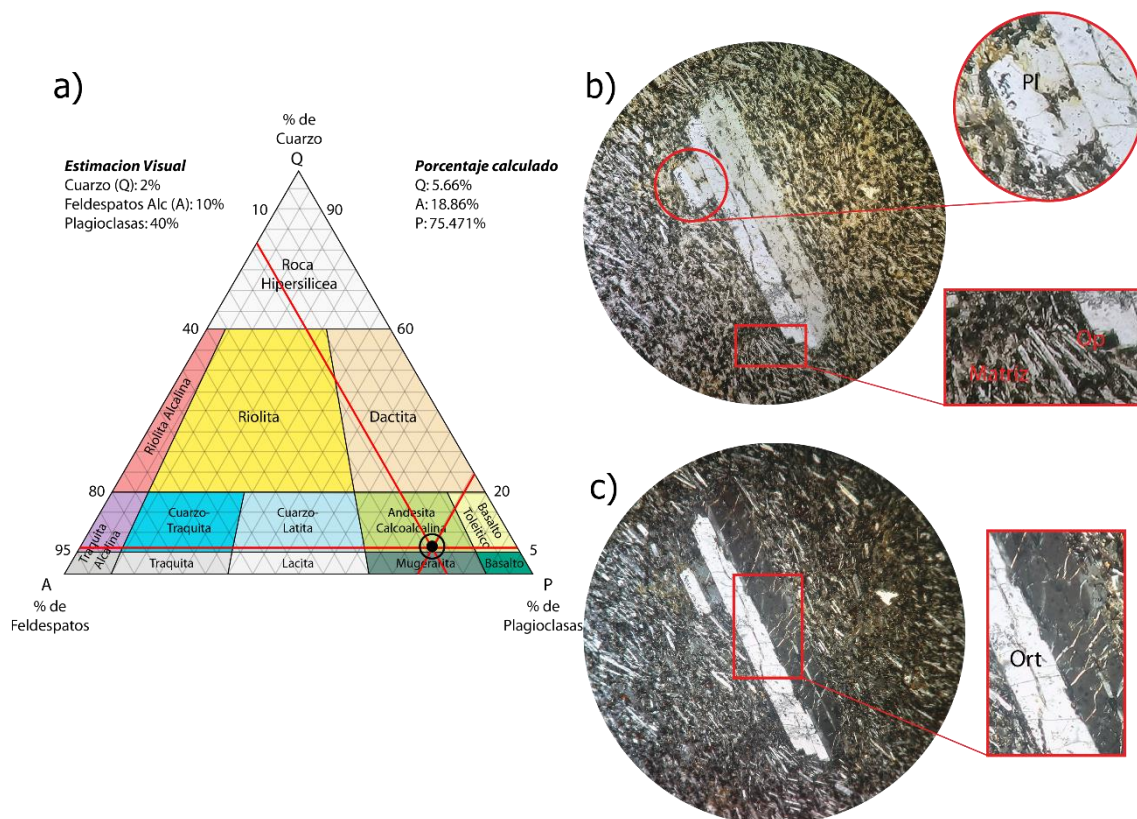
5.3. Bibliografía

- Anderson & Anstrad, F. (1984). *Structural Interpretation of LandSat Images iver Tertiary Volcanics in Nicaragua, Central America, SGAB repor to SAREC/INMINE and FIR.*
- Arellano et al. (2002). *Ejercicios de Geología Estructural* (Primera ed.). México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Cardenas, A. M. (2015). La estereoscopía, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Rev. Cient. Gen. José María Córdova*, 13(16), 201-219.
- Castro, A. (2015). Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas. En A. Castro, *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas* (págs. 203-211). Madrid: Paraninfo.
- Corea y Asociados S.A. (2010). *Anexo diagnostico de la infraestructura vial de la Red de Caminos Vecinales del municipio de "Santa Maria de Pantasma".* Jinotega.
- Corea y Asociados S.A. (2010). *Diagnostico de la infraestructura Vial de la red de caminos Vecinales del Municipio de "Santa Maria de Pantasma".* Jinotega.
- Cruz et al. (6 de Enero de 2010). Selección de áreas potenciales para áridos en el paleocause de la Llanura Sur, Pinar del Rio, Cuba. *ResearchGate*, 13-44.
- Dengo G & Case J. (1990). The Geology of North American. Vol H. The Caribbean Region. *Geological Society of America, Boulder, Colorado*, 550.
- Donaire, T. P. (2012). Propiedades básicas de petrografía óptica aplicadas a la clasificación y estudio de las rocas ígneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 188-197.
- Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Prentice Hall.
- Frischbutter, A. (2002). *Structures of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sesing images.*
- Garayar, J. (1971). *Geología y Depositos Minerales de una Parte de las Mesas de Esteli Cordillera Norte y Montañas de Dipilto*. Geológico, Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Division de Geología, Managua.

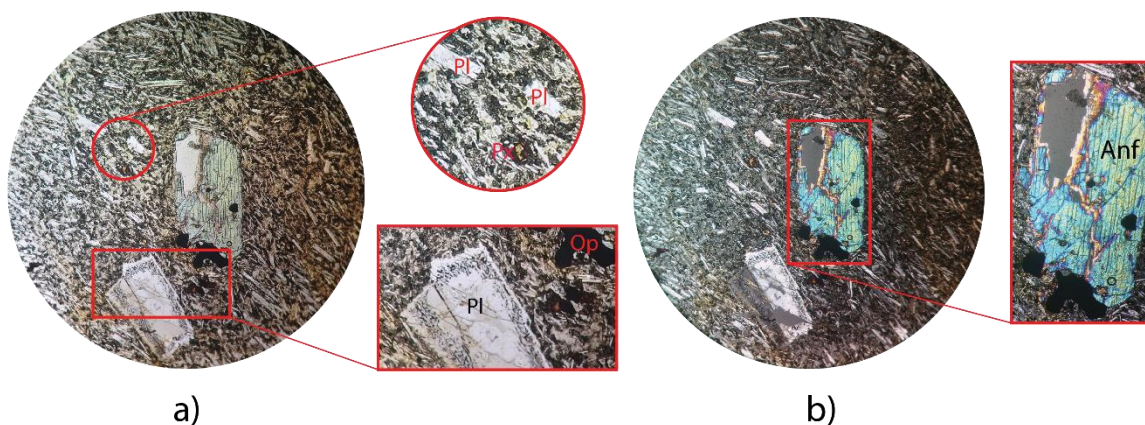
- Hodgson et al. (1983). *Desplazamiento de Actividades Volcanicas Durante El Terciario y a Relación Entre Paleo-Arcos Volcánicos y Depósitos de Minerales en Nicaragua*.
- Hodgson, G. (1977). *Inventario de los depósitos de caliza y mármoles de Nicaragua*. Servicio Geológico Nacional.
- Hodgson, G. (1982). *Informe Geológico de Presa El Mancotal, Macizos de Peñas Blancas, Rio Tuma, Rio Jiouina, Pancasan, Muy Muy y Santa Lucia*. Geologico, Servicio Geológico Nacional.
- Hodgson, G. (2000). *Geologia Regional de Nicaragua, Introduccion al Léxico estratigráfico de Nicaragua*.
- Hodgson, G. (2002). *Geología Historica e Historia Geológica Estructural, Tectónica simplificada de Nicaragua y America Central, 2da Edición*.
- Hodgson, G. y Darce, M. (1985). *Anotaciones Geologicas Relativas a los Cuadrangulos de Wiwili y La Vigia*. Geológico, Managua.
- IICA. (1988). Departamento de Jinotega Estrategia de Desarrollo Rural Sostenible. Jinotega.
- Kuang, J. (1971). *Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua*. Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Managua.
- Lugo, J. (1998). *Elementos de geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)* (Primera ed.). D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lugo, J. y Martínez, V. (1980). La Disección del relieve en el Sur de la Cuenca de México y Porciones Adyacentes. *Investigaciones Geográficas*, 55-64.
- Martínez et al. (2006). *Clasificación de Potenciales Naturales en los Bosques Templados del Sur de Chihuahua*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Chihuahua, México.
- McBirney & Williams. (1965). *Volcanic History of Nicaragua*. Berkeley, California: University of California Publications in Geological Sciences. .
- NASA EOSDIS. (01 de Enero de 2011). *ASF Data Search Vertex*. Obtenido de Vertex: <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>

- Quesada et al. (2014). Cartografía Geomorfológica para el Inventario de Procesos Gravitacionales en la Cuenca Endorreica del Arroyo La Ciénega, Flanco Oriental del Volcán Nevada Toluca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 329-342.
- Quesada, A. y Castillo, G. (2017). Modelo Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Procesos de Ladera. *Investigaciones Geográficas*(94).
- Rodriguez, M. (2012). *Biología y Geología*. CENoposiciones.
- Romo et al. (2010). *Elementos de Cartografía Geológica* (Primera ed.). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Sampieri et al. (2014). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). MCGRAW-HILL.
- Vebable, M. (1994). *A Geologic, Tectonic and Metallogenic Evaluation Of The Siuna Terrane*.
- Yardley et al. (1996). *Atlas de Rocas Metamórficas y sus Texturas*. Baelona: Masson.

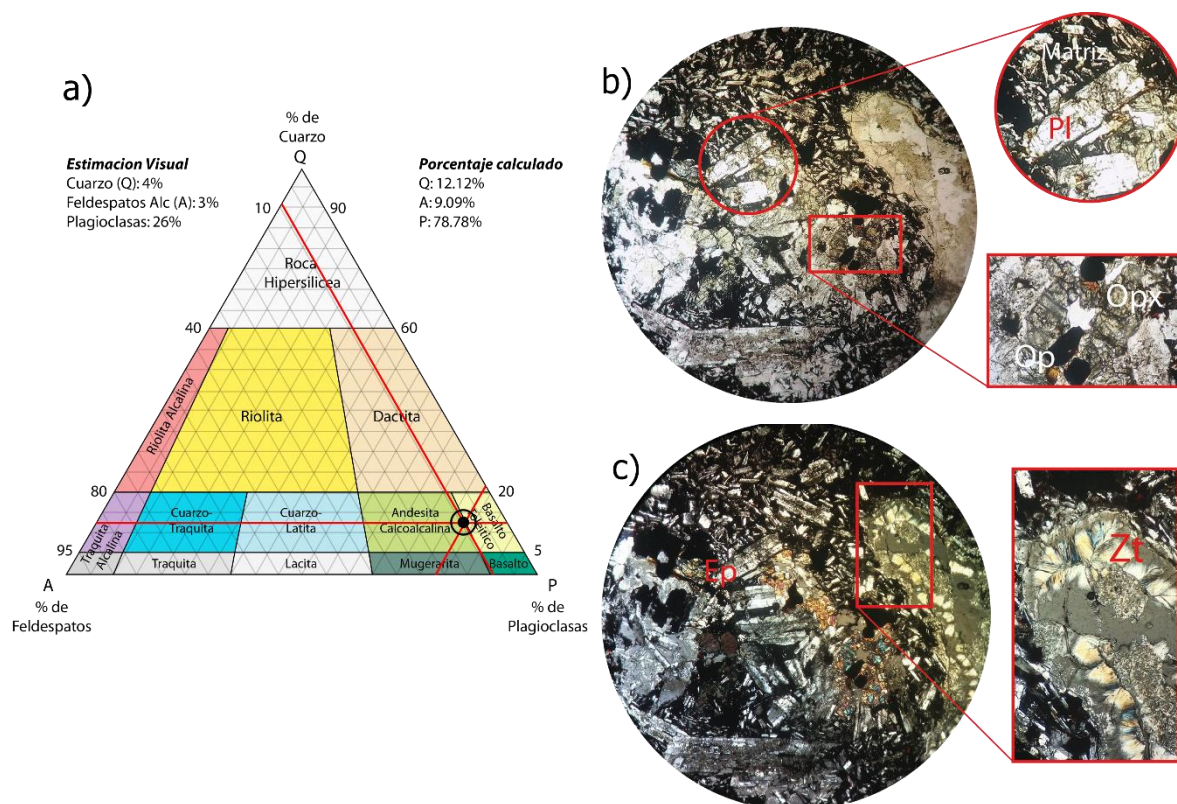
5.4. Anexos



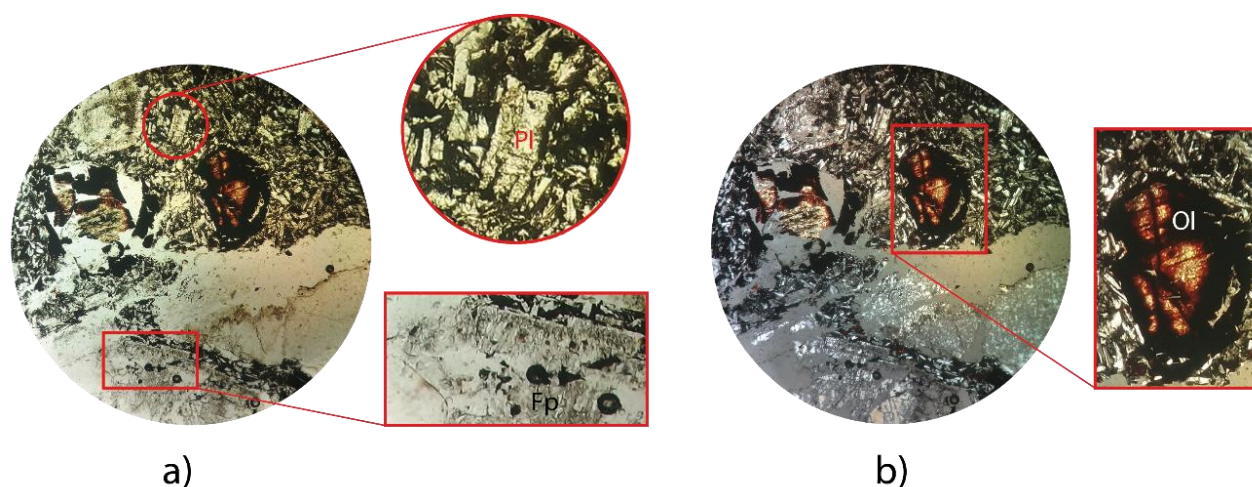
Anexo 1. 1a) Diagrama QAPF, andesitas comunidad El Portal. 1b) Matriz cristalina de textura fluidal, con cristales anhedral de plagioclasas (Pl) y minerales opacos (Op), aumento 5x. 1c) Muestra un fenocristal de ortoclasa (Ort), con exoluciones peritéticas, aumento 5x.



Anexo 2. Andesita en la comunidad El Portal (N1477768 – E0608363). 2a) Plagioclasas (Pl) con alteración sericitica, cristales pequeños de augita (Px) y algunos minerales opacos (Op), aumento 5. 2b) Fenocristal de hornblenda verde (Anf), con algunos minerales opacos (Op), aumento 5x.



Anexo 3. a) Diagrama QAPF andesita basáltica, Rio El Corozal. 3b) Matriz compuesta por plagioclasas (Pl), Ortopyroxenos (Opx), minerales opacos (Op), aumento 5x. 3b) textura porfídica, epidota (Ep), Zeolita (Zt), aumento 5x.



Anexo 4. Andesita basáltica, rio El Corozal (N1473989 – E0608364). 3a) fenocristales de plagioclasas (Pl), Feldespato potásico (Fp), aumento 5x. 3b) Olivino (Ol) mostrando alteración a iddingsita, aumento 5x.

Anexo 5. Secciones delgadas Elaboradas

Nombre	X	Y	Tipo de Roca	Codigo Lab
Rio Pantasma	613827	1476212	Brecha aglomerado	190007
Puente Corozal	608688	1474231	Andesita Basáltica	190008
Patastillal	608364	1473989	Andesita	190009
El sacramento	607945	1472593	Riolitas	190011
El Charcón 2	614273	1479034	Andesita alterada	190014
El Charcón 2	614273	1479034	Andesita alterada	190015
El Pacayal	609724	1481187	Ignimbritas	190020
El Venado	621784	1478308	Riolitas	190026
Wale #1	614827	1471777	Ignimbritas	190033
El Portal	608363	1477768	Andesita	190034
Boca de Vilan	620355	1482720	Esquistos	190035

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Puntos de muestreo en el sector NW de Santa María de Pantasma

Puntos	X	Y	Sitio	Unidad	Tipo de roca
1	613827	1476212	Rio Pantasma	Volcánica	Brecha
2	608688	1474231	Puente el Corozal	Volcánica	Andesita basáltica
3	608364	1473989	Patastillal	Volcánica	Andesita
4	608255	1473946	Patastillal	Volcánica	Andesita
5	608189	1473765	Patastillal	Volcánica	Ignimbritas
6	607945	1472593	Patastillal	Volcánica	Riolita
7	609610	1469079	El Sacramento	Volcánica	Andesita
8	608843	1469260	Rio Pantasma	Volcánica	Andesita

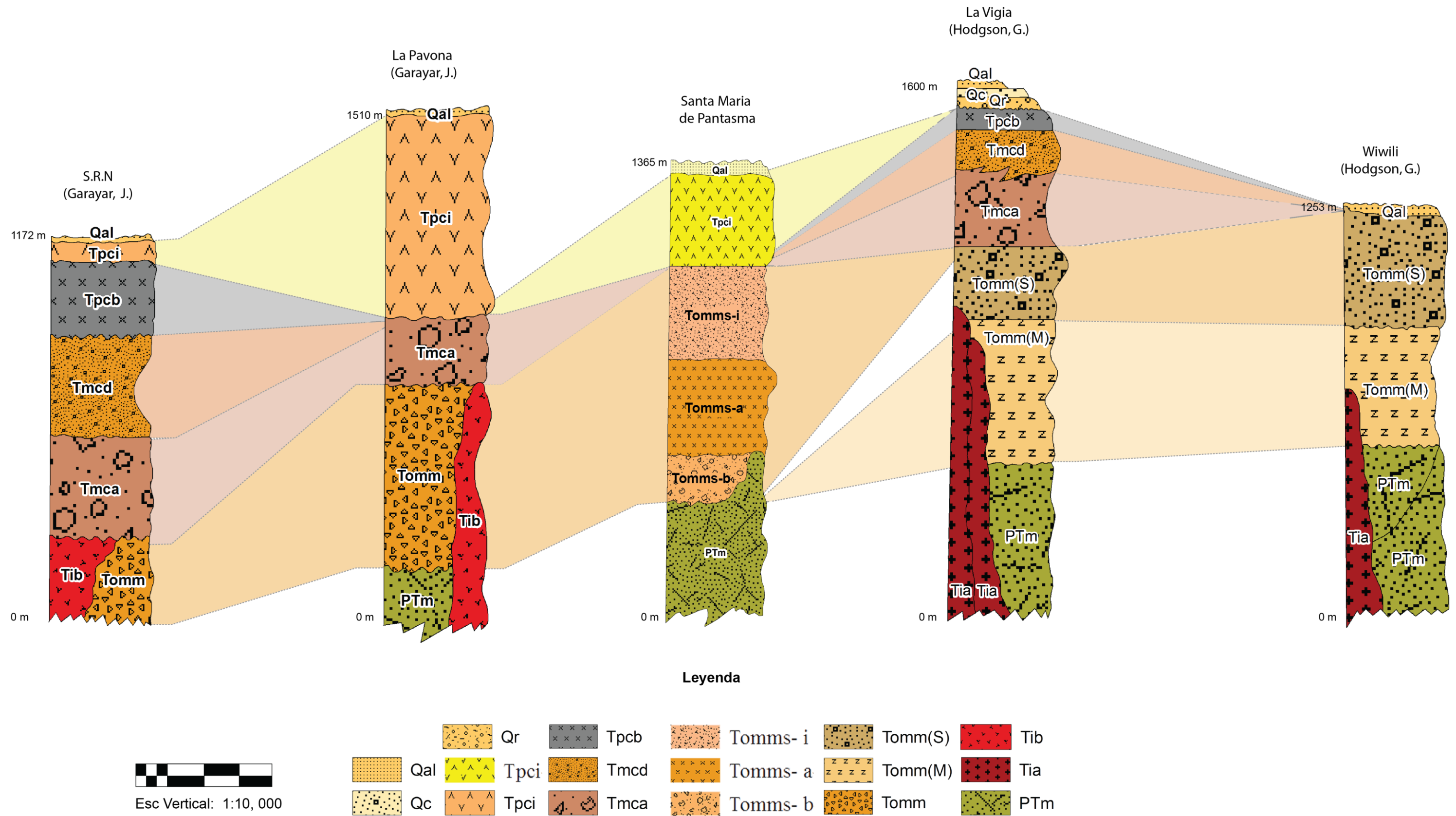
Puntos	X	Y	Sitio	Unidad	Tipo de roca
9	608745	1469288	Rio Pantasma	Volcánica	Indefinida
10	614273	1479034	El Charcón	Volcánica	Andesita
11	614273	1479034	El Charcón	Volcánica	Andesita
12	618349	1481652	El Chile	Volcánica	Brecha aglomerado
13	618416	1481464	El Chile	Volcánica	Brecha aglomerado
14	613108	1482872	Brellera 2	Volcánica	Andesita
15	612906	1483100	Brellera 2	Metamórfica	Esquistos
16	612330	1484450	Bramadero 2	Metamórfica	Filitas
17	612370	1484505	Bramadero 2	Metamórfica	Filitas
18	612375	1484529	Bramadero 2	Metamórfica	Esquistos grafitosos
19	612337	1484550	Bramadero 2	Metamórfica	Esquistos grafitosos
20	612368	1484558	Bramadero 2	Metamórfica	Esquistos grafitosos
21	610381	1485647	Bramadero	Metamórfica	Esquistos
22	609724	1481187	El Pacayal	Volcánica	Ignimbritas
23	609992	1482035	Caldera el Pacayal	Volcánica	Estructura volcánica
24	609637	1482644	El Portillo	Volcánica	Ignimbritas
25	620365	1480102	Flor de pino 1	Volcánica	Riolita
26	620851	1478761	El venado 1	Volcánica	Ignimbritas
27	621784	1478308	El venado 1	Volcánica	Riolita
28	613955	1476366	Las Praderas	Aluvionales	Dp Aluvionales
29	613901	1476419	Las Praderas	Aluvionales	Dp Aluvionales
30	611739	1470867	El Níspero	volcánica	Andesita
31	615795	1476317	Los Limones 2	Aluvionales	Dp Aluvionales
32	618129	1473438	Los Limones 2	volcánica	Andesita
33	618360	1473059	Los Limones 2	volcánica	Andesita
34	616850	1476775	Los Limones 2	volcánica	Indefinida
35	614103	1469556	Loma Alta Arriba	volcánica	Ignimbritas
36	614827	1471777	Wale 1	volcánica	Ignimbritas
37	608392	1474974	El Corozal	volcánica	Andesita
38	608368	1477768	El Portal	volcánica	Andesita
39	607818	1479409	El Tigre	volcánica	Andesita
40	620355	1482720	Boca de Vilan	Metamórfica	Andesita
41	613823	1476209	Rio Pantasma	volcánica	Brecha aglomerado
42	613803	1476207	Rio Pantasma	volcánica	Brecha aglomerado

Puntos	X	Y	Sitio	Unidad	Tipo de roca
43	614014	1476240	Rio Pantasma	volcánica	Brecha aglomerado
44	614121	1476245	Rio Pantasma	volcánica	Brecha aglomerado
45	614122	1476245	Rio Pantasma	aluvional	Dp Aluvionales
46	614239	1476365	Rio Pantasma	aluvional	Dp Aluvionales
47	614238	1476430	Rio Pantasma	aluvional	Dp Aluvionales
48	614237	1476430	Rio Pantasma	aluvional	Dp Aluvionales
49	614252	1476500	Rio Pantasma	aluvional	Dp Aluvionales
50	614252	1476512	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
51	614269	1476487	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
52	614327	1476528	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
53	614631	1476545	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
54	614656	1476552	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
55	614656	1476567	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
56	614658	1476725	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
57	614834	1476885	Rio Pantasma	volcánica	Andesita
58	615064	1476979	Rio Pantasma	aluvional	Dp Aluvionales
59	614384	1483244	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
60	614374	1483212	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
61	614472	1483581	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
62	614603	1483836	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
63	614528	1483984	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
64	614512	1484000	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
65	614503	1484010	La Brellera	volcánica	Rx Alterada
66	614718	1484635	El Porvenir	volcánica	Rx Alterada
67	614794	1484766	El Porvenir	Metamórfica	Esquistos
68	614808	1484755	El Porvenir	Metamórfica	Esquistos
69	613629	1485735	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos
70	613619	1485737	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos
71	613289	1485773	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos
72	613109	1485686	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos
73	612453	1484957	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos
74	612452	1484952	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos
75	612439	1484927	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos, Cuarcita, Filitas
76	612359	1484473	El Bramadero	Metamórfica	Esquistos, Cuarcita, Filitas

Puntos	X	Y	Sitio	Unidad	Tipo de roca
77	612328	1484441	El Bramadero	Metamórfica	Filitas
78	612368	1484524	El Bramadero	Metamórfico	Esquistos grafitosos
79	616702	1481696	Estancia Cora	Aluvional	Dp Aluvionales
80	616693	1481654	Estancia Cora	Aluvional	Brecha de impacto
81	616660	1481629	Estancia Cora	Aluvional	Dp Aluvionales
82	616616	1481586	Estancia Cora	Aluvional	Dp Aluvionales
83	616530	1481508	Estancia Cora	Aluvional	Dp Aluvionales
84	616495	1481487	Estancia Cora	Aluvional	Dp Aluvionales
85	616581	1481529	Estancia Cora	Aluvional	Brecha de impacto
86	616751	1479086	El Malecón	Aluvional	Dp Aluvionales
87	616774	1479088	El Malecón	Aluvional	Dp Aluvionales
88	616849	1476769	Los Limones 2	volcánica	Indefinida
89	615653	1476118	Los Limones	Aluvional	Dp Aluvionales
90	615676	1476150	Los Limones	Aluvional	Dp Aluvionales
91	615678	1476165	Los Limones	Aluvional	Dp Aluvionales
92	615635	1476216	Los Limones	Aluvional	Dp Aluvionales
93	615645	1476222	Los Limones	Aluvional	Dp Aluvionales
94	615658	1476224	Los Limones	Aluvional	Dp Aluvionales
95	612505	1474445	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
96	612644	1474493	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
97	612639	1474538	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
98	612610	1474689	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
99	612580	1474921	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
100	612581	1474984	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
101	612627	1475032	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
102	612725	1475075	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
103	612822	1475191	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
104	612894	1475172	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
105	612900	1475172	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
106	612968	1475184	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
107	613011	1475181	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
108	613028	1475195	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
109	613058	1475246	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
110	613077	1475245	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales

Puntos	X	Y	Sitio	Unidad	Tipo de roca
111	613131	1475262	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
112	613281	1475234	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
113	613332	1475224	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
114	613419	1475268	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
115	613445	1475357	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
116	613448	1475397	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
117	613470	1475468	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
118	613506	1475732	Penquillas	Aluvional	Dp Aluvionales
119	611750	1470845	El Níspero	volcánica	Andesita
120	612263	1471716	El Níspero	volcánica	Andesita
121	612227	1471758	El Níspero	volcánica	Andesita
122	612213	1471829	El Níspero	volcánica	Andesita
123	612196	1471903	El Níspero	volcánica	Andesita
124	612111	1472180	El Níspero	volcánica	Andesita
125	613935	1476405	Las Praderas	aluvional	Dp Aluvionales
126	613928	1476406	Las Praderas	aluvional	Dp Aluvionales
127	613950	1476367	Las Praderas	aluvional	Dp Aluvionales
128	618054	1481268	El Chile	volcánica	Brecha aglomerado
129	618184	1481437	El Chile	volcánica	Brecha aglomerado
130	618430	1481501	El Chile	volcánica	Brecha aglomerado
131	616753	1479096	El Malecón	aluvional	Dp Aluvionales

Fuente: Elaboración Propia



Anexo 7. Correlación estratigráfica de la zona de estudio. Fuente: Elaboración Propia

